



UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



## **Impacto e Modelação das Cargas de Treino em Nadadores de Elite Portugueses**

Dissertação com vista à obtenção do grau de Doutor em Motricidade  
Humana na especialidade de Fisiologia do Exercício

**Orientador:** Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

**Co-orientadora:** Professora Doutora Paula Marta Pereira Bruno

**Júri:**

**Presidente**

Reitor da Universidade de Lisboa

**Vogais**

Doutor António José Rocha Martins da Silva

Professor Catedrático

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor José Henrique Fuentes Gomes Pereira

Professor Catedrático

Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Professor Catedrático

Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

Doutor Luís Manuel Pinto Lopes Rama

Professor Auxiliar

Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de  
Coimbra

Doutora Ana Maria Fité Alves Diniz

Professora Auxiliar

Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

PEDRO VIEIRA TROUILLET PESSOA

Junho de 2014





## **Declaração de Reprodução da Tese**

Nome: Pedro Vieira Trouillet Pessoa

Endereço eletrónico: [ppessoa@fmh.ulisboa.pt](mailto:ppessoa@fmh.ulisboa.pt)

Telefone: 914293171

Número do Cartão de Cidadão: 10101667

Título: Impacto e Modelação das Cargas de Treino em Nadadores de Elite Portugueses

Orientador: Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Coorientador: Professora Doutora Paula Marta Pereira Bruno

Ano de conclusão: 2014

Doutoramento: Motricidade Humana na especialidade de Fisiologia

É autorizada a reprodução integral desta tese/trabalho apenas para efeitos de investigação, mediante declaração escrita do interessado, que a tal se compromete.

Faculdade de Motricidade Humana – Universidade de Lisboa

Cruz Quebrada, 11 / 06 / 2014

Assinatura

Pedro Vieira Trouillet Pessoa

# AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu agradecimento a todas aquelas pessoas, ou entidades, que colaboraram de uma forma direta ou indireta neste trabalho e que foram determinantes no seu desenvolvimento.

Ao Professor Doutor Francisco Alves, orientador, pelo incentivo, apoio e empenho que colocou na orientação desta tese. A sua orientação foi crucial, desde o primeiro momento, e agradeço, também, a sua disponibilidade, a perspicácia nas intervenções e a amizade demonstrada ao longo deste percurso.

À Professora Doutora Paula Bruno, co-orientadora, pela disponibilidade e pelo apoio ao longo desta tese. As longas e produtivas reuniões sobre métodos de modelação matemática e a clareza a transmitir todos os conceitos foram sempre imprescindíveis para direccionar os estudos.

Ao Diogo Quintão e ao Rudi Bernardo pela disponibilidade e pela dedicação ao longo de todo o período de recolha de dados.

Aos treinadores Carlos Cruchinho e David Ferro que, ao longo de 2 anos, estiveram sempre disponíveis para colaborar na realização deste trabalho.

Aos atletas que participaram neste estudo, pela sua imprescindível colaboração.

Ao Sporting Clube de Portugal pela permissão em usar as suas instalações e os seus atletas neste estudo.

Ao meu pai pela revisão do texto e pelo sentido crítico.

À Sara, Sofia e Alice por funcionarem como uma âncora com a realidade nas alturas de maiores dúvidas ou hesitações.



# RESUMO

Esta tese pretendeu contribuir para o conhecimento sobre o papel da utilização de modelos matemáticos, enquanto ferramenta de suporte a treinadores e atletas, no desenho de estratégias de periodização conducentes a uma capacidade de desempenho ótima. Assim, acompanharam-se durante duas épocas desportivas, consecutivas (2011-2012 e 2012-2013), 11 nadadores portugueses de elite. As suas cargas de treino foram controladas e quantificadas em Unidades Arbitrárias de Carga. As avaliações de desempenho foram realizadas em situação de competição e expressas como uma percentagem do melhor tempo da época transata. Procurou-se, posteriormente, comparar três modelos, referidos na literatura, relativamente à sua capacidade de ajustamento e predição. Procurou-se ainda propor uma adaptação aos modelos estudados que melhorasse as capacidades referidas. Utilizou-se, como método estatístico, para aferir da qualidade do ajustamento o coeficiente de determinação e a minimização de  $AIC$ , e para avaliar a capacidade preditiva, a variância dos resíduos e a estatística  $U$  de Theil. Neste estudo não se conseguiu provar a superioridade de nenhum dos modelos testados, quer na capacidade de ajustamento, quer na capacidade preditiva. A introdução de intervenções no modelo de Banister parece melhorar a sua capacidade de ajustamento, o que se traduz em valores superiores no coeficiente de determinação, para a maioria dos atletas. São, no entanto necessários mais estudos que comprovem estes resultados.

Palavras- Chave: taper, performance, modelação, cargas de treino, nadadores.





# ABSTRACT

The aim of this thesis was to assess the role of mathematical models as a tool for helping coaches and athletes designing optimal training strategies leading to performance improvements. Eleven Portuguese elite swimmers were followed for two consecutive sport seasons (2011-2012 and 2012-2013). The training loads were controlled and quantified as ATU (Arbitrary Training Units). The performances evaluations were taken under real competition and expressed as personal record percentage. A comparative study of three mathematical models was made, regarding the fit and the predict capacity the models. We also tried to propose an adaptation to the studied models in order to improve their capacities. The coefficient of determination, the AIC minimization, the residual variance and the Theil's  $U$ –statistic were the procedures to assess the models fitting and predictive capacities. We could not prove, in this study, the advantage of any of the tested models regarding the above capacities. The introduction of the intervention procedure in the Banister model seems to improve its fitting capacity. Other studies are required to verify these results.

**Key-words:** taper, performance, modelling, training loads, swimmers.



# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	I
RESUMO .....	III
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE .....	VII
ÍNDICE DE TABELAS .....	IIX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos .....	3
2 Revisão da Literatura .....	5
2.1 Quantificação das Cargas de Treino.....	5
2.1.1 Componentes da Carga de Treino .....	5
2.1.2 Métodos de Quantificação da Carga de Treino .....	9
2.2 <i>Taper</i> .....	17
2.2.1 Modelos de <i>Taper</i> .....	19
2.2.2 Efeitos do <i>Taper</i> .....	23
2.3 Modelos .....	31
2.3.1 Modelo de Banister.....	32
2.3.2 Modificações ao Modelo de Banister.....	37
2.3.3 Bases Fisiológicas.....	41
2.3.4 Benefícios Conceptuais e Aplicações Práticas.....	42

2.3.5	Limitações .....	46
3	Metodologia .....	49
3.1	Participantes .....	49
3.2	Monitorização das Cargas de Treino .....	52
3.3	Monitorização do Desempenho.....	54
3.4	Modelos.....	55
3.4.1	Estimação .....	55
3.4.2	Diagnóstico .....	59
3.4.3	Simulação .....	61
4	Apresentação e Discussão de Resultados .....	63
4.1	Dinâmica das Cargas de Treino .....	63
4.2	Modelos.....	65
4.2.1	Estimação .....	65
4.2.2	Diagnóstico .....	76
4.2.3	Simulação .....	82
5	Conclusões .....	86
	Referências .....	91
	Apêndice A .....	99
	Apêndice B .....	103

## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1: Classificação das zonas de intensidade (Adaptado de Alves, 2000).</i>	8
<i>Tabela 2: Adaptação da escala Cr. 10 de Borg e as zonas de intensidade de treino da natação (Adaptado de Maglischo, 2003).</i>	10
<i>Tabela 3: Efeitos do taper no consumo máximo de O<sub>2</sub> (Adaptado de Mujika et al., 2009).</i>	24
<i>Tabela 4: Efeitos do taper na frequência cardíaca (Adaptado de Mujika et al., 2009).</i>	26
<i>Tabela 5: Efeitos do taper na concentração de lactato (Adaptado de Mujika et al., 2009).</i>	28
<i>Tabela 6: Efeitos do taper nos estados de humor e na PSE (Adaptado de Mujika et al., 2009).</i>	30
<i>Tabela 7: Características dos atletas do género masculino durante as duas épocas de estudo.</i>	50
<i>Tabela 8: Características dos atletas do género feminino durante as duas épocas de estudo.</i>	51
<i>Tabela 9: Características antropométricas dos participantes, em função do género.</i>	52
<i>Tabela 10: Definição dos coeficientes de ponderação (Adaptado de Mujka et al. 1995, Maglischo, 2003).</i>	53
<i>Tabela 11: Distribuição das cargas de treino nas três simulações experimentadas.</i>	61

<i>Tabela 12: Análise descritiva (Média±Dp) da distribuição do volume de treino, por zona de intensidade, em cada macrociclo, ao longo da época 2011-2012. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 13: Análise descritiva (Média±Dp) da distribuição do volume de treino, por zona de intensidade, em cada Macrociclo, ao longo da época 2012-2013. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 14: Estimativas reportadas na literatura para os parâmetros dos modelos de Banister, de Busso e de Hellard.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 15: Inicializações e restrições consideradas, para o modelo de Banister, em estudo de simulação. ....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 16: Inicializações e restrições consideradas, para o modelo de Busso, em estudo de simulação.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 17: Inicializações e restrições consideradas, para o modelo de Hellard, em estudo de simulação. ....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 18: Solução final obtida pelo modelo de Hellard, para os atletas 1 e 3, tendo em conta diferentes condições iniciais. ....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 19: Estimativas dos parâmetros e estatísticas de ajustamento, para atletas do género masculino e para os quatro modelos em estudo. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 20: Estimativas dos parâmetros e estatísticas de ajustamento, para atletas do género feminino e para os quatro modelos em estudo. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 21: Estatísticas de ajustamento para a época 2011-2012 e estatísticas de avaliação de diagnóstico para a época 2012-</i>	

2013, para atletas do género masculino e para os três modelos em estudo. ....	77
<i>Tabela 22: Estatísticas de ajustamento para a época 2011-2012 e estatísticas de avaliação de diagnóstico para a época 2012-2013, para atletas do género feminino e para os três modelos em estudo. ....</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 23: Desempenhos simulados (%) para o atleta 1, em função das três estratégias de taper testadas, para a época 2013-2014, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Hellard. ....</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 24: Desempenhos simulados (%) para o atleta 3, em função das três estratégias de taper testadas para a época 2013-2014, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Banister.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 25: Desempenhos simulados (%) para o atleta 6, em função das três estratégias de taper testadas para a época 2013-2014, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Banister com intervenções.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 26: Desempenhos simulados (%) para o atleta 11, em função das três estratégias de taper testadas para a época 2013-2014, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Busso.....</i>	<i>85</i>





## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i>	<i>Desempenho do atleta nº 2 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013 (a linha vertical representa o início da 2ª época). ...</i>	<i>56</i>
<i>Figura 2:</i>	<i>Exemplo de intervenção (A) instantânea, (B) de mudança de nível. ....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3:</i>	<i>Distribuição das cargas de treino nas três simulações experimentadas.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 4:</i>	<i>Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 2 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Busso (a linha vertical representa o inicio da 2ª época).....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 5:</i>	<i>Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 2 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Banister com intervenções (a linha vertical representa o inicio da 2ª época).....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 6:</i>	<i>Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 11 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Banister (a linha vertical representa o inicio da 2ª época).....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 7:</i>	<i>Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 11 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com</i>	

	<i>a estimação dada pelo modelo de Banister com intervenções (a linha vertical representa o início da 2ª época). ....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 8:</i>	<i>Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 1 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Hellard (a linha vertical representa o início da 2ª época). ....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 9:</i>	<i>Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 3 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Banister (a linha vertical representa o início da 2ª época). ....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 10:</i>	<i>Evolução da carga de treino, do desempenho (real e estimado) e respetivos resíduos para o atleta nº 3 ao longo da época 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Banister para a época 2011-2012. ....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 11:</i>	<i>Evolução da carga de treino, do desempenho (real e estimado) e respetivos resíduos para o atleta nº 3 ao longo da época 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Hellard para a época 2011-2012. ....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 12:</i>	<i>Evolução da carga de treino, do desempenho (real e estimado) e respetivos resíduos para o atleta nº 10 ao longo da época 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Banister para a época 2011-2012. ....</i>	<i>81</i>

<i>Figura 13: Variação dos valores simulados de NTEs, PTEs (UAC) e performance (%) para o atleta 1, em função das três estratégias de taper testadas (A, B, C) para a época 2013-2014, de acordo com a estimacção dada pelo modelo de Hellard. ....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 14: Variação dos valores simulados de NTEs, PTEs (UAC) e performance (%) para o atleta 3, em função das três estratégias de taper testadas (A, B, C) para a época 2013-2014, de acordo com a estimacção dada pelo modelo de Banister.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 15: Variação dos valores simulados de NTEs, PTEs (UAC) e performance (%) para o atleta 6, em função das três estratégias de taper testadas (A, B, C) para a época 2013-2014, de acordo com a estimacção dada pelo modelo de Banister com intervenes.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 16: Variação dos valores simulados de NTEs, PTEs (UAC) e performance (%) para o atleta 11, em função das três estratégias de taper testadas (A, B, C) para a época 2013-2014, de acordo com a estimacção dada pelo modelo de Busso.....</i>	<i>85</i>



# 1 Introdução

O objetivo principal de qualquer treinador ou atleta é aumentar as suas capacidades técnicas, físicas e psicológicas, de uma forma que lhes permita o mais alto nível de desempenho, e desenvolver um programa de treino preciso e controlado que garanta que essa capacidade máxima de desempenho é alcançada na altura certa da época, ou seja, na altura das competições principais.

No entanto, os treinadores abordam, normalmente, a relação entre o treino e o desempenho de uma forma muito empírica (LeMeur, Hausswirth, & Mujika, 2012). As expectativas relativas à performance de um atleta são fundamentadas pelo acompanhamento diário e pela experiência e conhecimento do treinador (Taha & Thomas, 2003). Apesar da existência de vários estudos sobre as adaptações fisiológicas associadas ao processo de treino, raramente se tem relacionado essas adaptações com a capacidade de desempenho (Coyle, 1995).

A capacidade de atingir níveis elevados de desempenho, por parte dos atletas, surge como resultado de um longo processo de adaptação ao processo de treino (Verchoschanskii, 1992) e está dependente da eficácia de um modelo de periodização das cargas. Apesar de ser relativamente simples, nas fases iniciais da formação de um atleta, o processo de planeamento e periodização das cargas de treino vai-se tornando mais

complexo com evoluir da idade e do nível competitivo (Mujika, 1998) e, nesse sentido, a capacidade de quantificar, de uma forma precisa, as cargas de treino a que os atletas estão sujeitos revela-se crucial.

De uma forma geral, a capacidade máxima de desempenho, nas competições principais, está associada a uma redução significativa das cargas de treino, nos dias que antecedem essa competição. Este período específico da época desportiva é conhecido por *taper* e é definido por Mujika and Padilla (2003) como uma redução progressiva e não linear das cargas de treino, durante um período de tempo variável, e que tem como objetivo reduzir a fadiga fisiológica e psicológica decorrente do processo de treino, de forma a otimizar a capacidade de desempenho. Nessa perspetiva, *taper* é, portanto, uma fase determinante no sucesso ou insucesso da performance de um atleta. No entanto, é também uma das fases que mais dúvidas e incertezas levantam, a treinadores, sobre a dinâmica das cargas mais adequada a cada atleta (LeMeur et al., 2012). A utilização de modelos matemáticos, que descrevem a relação entre o processo de treino e a capacidade de desempenho pode, então, ser uma ferramenta útil na tentativa de ultrapassar algumas dessas dúvidas, permitindo testar a estratégia de *taper* que melhor se adapta a cada atleta (Clarke & Skiba, 2013).

De acordo com esta abordagem, desenvolvida inicialmente por Banister, Calvert, Savage, and Bach (1975), a capacidade de desempenho de um atleta, em qualquer altura do processo de treino, poderia ser estimada através de um sistema constituído por um input (cargas de treino) e um output (capacidade de desempenho), relacionados por uma função

matemática. O modelo incorpora parâmetros que são constantes e que caracterizam a resposta individual ao processo de treino, permitindo, posteriormente, a determinação da melhor estratégia de *taper*, e a simulação dos efeitos, na capacidade de desempenho, de cargas de treino específicas (Mujika, 2009).

Vários estudos têm indicado que o desenvolvimento deste tipo de modelos matemáticos pode melhorar a compreensão dos efeitos do treino na otimização da capacidade de desempenho (Busso, 2003; Fitz-Clarke, Morton, & Banister, 1991; Mujika et al., 1996; Thomas & Busso, 2005; Thomas, Mujika, & Busso, 2008).

## 1.1 Objetivos

Esta tese foi desenvolvida com o objetivo geral de estudar a relação entre o processo de treino e a capacidade de desempenho de um grupo de nadadores portugueses.

Pode sintetizar-se da seguinte forma os objetivos deste trabalho:

- 1) Estudar o impacto das cargas de treino na capacidade de desempenho;
- 2) Utilizar e comparar diversos modelos matemáticos, referenciados na literatura, para modelar as respostas de um grupo de nadadores a um determinado período de treino;

- 3) Sugerir adaptações aos modelos utilizados, que permitam uma melhor explicação da relação entre o processo de treino e a performance;
- 4) Simular, através da modelação, relações causais entre a duração do período de *taper* e a capacidade de desempenho.



## **2 Revisão da Literatura**

### **2.1 Quantificação das Cargas de Treino**

A quantificação das cargas de treino a que um atleta está sujeito é fundamental para garantir o seu sucesso em competição. Se se procura estabelecer e analisar relações de causalidade entre o processo de treino e as adaptações fisiológicas e o rendimento daí resultantes, torna-se indispensável quantificar de forma precisa e eficiente as cargas a que o atleta foi submetido durante o processo de treino. Por outras palavras, não é possível conhecer os efeitos de um programa de treino sem uma quantificação rigorosa do mesmo (Wallace, Slattery, & Coutts, 2014).

#### **2.1.1 Componentes da Carga de Treino**

O estímulo provocado pela aplicação de uma determinada carga de treino pode ser descrito, normalmente, pela combinação de três variáveis do treino como o volume, a intensidade e a frequência (Mujika et al., 1995). É comumente aceite que a conjugação equilibrada destas três variáveis produz

uma resposta adaptativa que pode levar a uma evolução na capacidade de desempenho dos atletas.

- **Volume**

O volume é uma componente fundamental da carga de treino e constitui a base do trabalho em modalidades de resistência (Mujika et al., 1995). A maioria dos técnicos e dos nadadores assume que a evolução da capacidade de desempenho está, diretamente, relacionada, com o volume das cargas a que estão sujeitos durante o processo de treino. Esta variável torna-se muito fácil de quantificar, pois não é mais do que a distância coberta, ou o número de horas, numa determinada fase do processo de treino, quer seja uma sessão, ou uma época de treino.

- **Frequência**

A frequência de treino, assim como o volume, torna-se fácil de quantificar, uma vez que se refere ao número de vezes em que o atleta treina, num determinado espaço de tempo. A frequência e o volume são duas variáveis com uma relação estreita, uma vez que variações na frequência podem implicar, também, variações no volume. Apesar desta relação evidente e da facilidade com que as variáveis podem ser quantificadas, não existem, na literatura, referências que relacionem a influência da frequência no rendimento, com um determinado volume de treino (Mujika, 2009).

- **Intensidade**

A intensidade do treino é, também, um fator de grande importância para a evolução da capacidade competitiva do atleta devido às respostas adaptativas que provoca. No entanto, ao contrário do volume e da frequência, esta variável é de difícil quantificação.

Até à data, tem-se procurado quantificar a intensidade do exercício através do impacto que este tem no organismo (frequência cardíaca, lactatemia, percentagem do  $VO_{2\text{máx}}$ , Percepção Subjetiva de Esfoço (PSE)) – medidas de carga interna; e através das características específicas da cargas de treino (percentagem da velocidade ou da força máxima) – medidas de carga externa (Jeukendrup & Diemen, 1998). De acordo com Jeukendrup and Diemen (1998), a intensidade do exercício pode-se definir como a quantidade de ATP (adenosina trifosfato) hidrolisado e convertido em energia mecânica, por minuto. Desta maneira, os autores consideram muito difícil medir o dispêndio energético, de forma continuada em laboratório e, mais ainda, em situação de terreno. Sugerem, portanto, que a intensidade deveria ser quantificada através de uma variável que esteja diretamente relacionada com o dispêndio energético e que seja fácil de controlar.

No âmbito da Natação, os índices fisiológicos que mais frequentemente são utilizados para referência na prescrição e avaliação das cargas são o consumo máximo de oxigénio, a frequência cardíaca e o lactato sanguíneo acumulado durante o esforço. A variação destes parâmetros fisiológicos com a qualidade do desempenho deverá ser avaliada regularmente, constituindo um instrumento de controlo do programa de treino na sua globalidade.

O tratamento individual destes índices deverá permitir associar estes parâmetros da carga interna ao parâmetro da carga externa de relevância prática por excelência: a velocidade de nado, facilmente determinada a partir da cronometragem das distâncias de treino e competição (Tabela 1).

*Tabela 1: Classificação das zonas de intensidade (Adaptado de Alves, 2000).*

Zona	Designação	Caracterização metabólica	Frequência cardíaca
Reg	Regenerativo	[La] 1,5 - 2 mmol.L <sup>-1</sup> ; 50 % VO <sub>2</sub> max	120 - 130
Aero 1	Capacidade aeróbia de base (≤ limiar láctico ≈ domínio moderado)	[La] 2 – 3,5 mmol. L <sup>-1</sup> ; 50 - 80 % VO <sub>2</sub> max	130 - 150
Aero 2	Capacidade aeróbia máxima (entre o limiar láctico e o EEML/Pc ≈ domínio pesado)	[La] 3,5 – 4,5 mmol. L <sup>-1</sup> ; 80 - 90 % VO <sub>2</sub> max	150 - 180
PA	Potência aeróbia (> EEML/Pc ≈ domínio severo)	[La] 4,5 - 8.0 mmol. L <sup>-1</sup> ; > 90 % VO <sub>2</sub> max	Máxima
TL	Capacidade anaeróbia láctica (Tolerância Láctica)	[La] > 6 mmol. L <sup>-1</sup> ; > 100 % VO <sub>2</sub> max	Máxima
AML	Acumulação láctica máxima	[La] > 10 mmol. L <sup>-1</sup> ; > 100 % VO <sub>2</sub> max	Máxima
PL	Potência láctica	Duração insuficiente	-----
EEML - Estado Estacionário Máximo de Lactatemia; Pc - Potência Crítica			

Como veremos de seguida, existem vários métodos que podem ser utilizados para quantificar a intensidade das cargas de treino. Alguns destes métodos são baseados em critérios objetivos como a velocidade e a potência; outros, em critérios fisiológicos como a frequência cardíaca, a lactatemia ou o consumo de O<sub>2</sub>; e outros através de critérios subjetivos, como a PSE.

## 2.1.2 Métodos de Quantificação da Carga de Treino

- **Questionários e Diários**

A utilização de questionários ou diários permite recolher informação sobre a atividade física do atleta, durante semanas, meses, ou mesmo anos (Hopkins, 1991). A sua utilização tem-se tornado popular, especialmente em grandes populações, porque a sua administração é fácil, são baratos, e não interferem com o processo de treino. No entanto, a sua fraqueza reside no facto das respostas dos atletas serem sempre subjetivas (Hopkins, 1991).

Assim, apesar da utilização de diários e questionários poder ser útil no controlo da atividade física geral, em diversas populações, a sua utilização como método de controlar a carga de treino permanece inadequada (Borresen & Lambert, 2009; Shephard, 2003).

- **Perceção Subjetiva de Esforço**

A perceção que cada atleta tem do esforço realizado durante o treino pode ser outro método válido de quantificação das cargas. Uma das ferramentas mais utilizadas para esta quantificação tem sido a PSE (Borg, 1985). Trata-se de uma categorização entre 6 e 20, ou de 0 a 10 (Cr. 10 de Borg - *Category ratio scale*), em que se pede ao indivíduo que estime a sensação de intensidade que refletiu o esforço despendido, de acordo com essa escala. Esta categorização responde a fatores psicofisiológicos e têm sido estabelecidas relações entre os valores de PSE e as diferentes intensidades do exercício (Tabela 2), por um lado, e a frequência cardíaca e a lactatemia,

por outro (Green et al., 2006; Noble & Robertson, 1996; Robinson, Robinson, & P.Hume, 1991; Weltman, 1995).

No entanto, outros estudos têm relatado fracas correlações entre a frequência cardíaca e a PSE durante exercícios de alta intensidade e curta duração (Little & Williams, 2007; Ozkan & Kin-Isler, 2007). Chen, Fan, and Moe (2002) consideram que, apesar da escala de Borg parecer ser uma ferramenta válida para medir a intensidade do exercício, a relação entre as suas categorias e a variação de algumas variáveis fisiológicas não é tão alta como se pensava.

Tornam-se, portanto, necessários mais estudos para determinar quais os mecanismos fisiológicos que estão por trás da nossa percepção do esforço, e assim clarificar o papel da PSE (Borresen & Lambert, 2009).

*Tabela 2: Adaptação da escala Cr. 10 de Borg e as zonas de intensidade de treino da natação (Adaptado de Maglischo, 2003).*

Nível	Esforço percecionado	Intensidade de treino
1 - 2	Muito ligeiro	
3 - 4	Ligeiro	A1 – Manutenção da capacidade aeróbia
5 - 6	Moderado	A1 – Desenvolvimento da capacidade aeróbia
7 - 8	Forte mas possível	A2 – Sobrecarga do mecanismo aeróbio, ligeiramente abaixo do EEML
9	Muito difícil	A3, TL – Desenvolvimento da capacidade anaeróbia e do $VO_{2máx}$ . Intensidade acima do EEML
10	Máximo	TL – Desenvolvimento do metabolismo anaeróbio
EEML - Estado Estacionário Máximo de Lactatemia; TL – Tolerância Láctica		

- **Consumo de O<sub>2</sub>**

A maior parte do treino numa modalidade de resistência, como a natação, é realizada numa dependência acentuada do metabolismo aeróbio. No entanto, a relação entre o consumo de O<sub>2</sub> e a potência desenvolvida por um atleta só é, aproximadamente, linear, dentro de um intervalo de intensidades que vai desde o repouso até ao estado máximo estacionário (Robinson et al., 1991). Desta maneira, o consumo de O<sub>2</sub> pode ser um indicador de intensidade num exercício em estado estacionário, mas não pode ser considerado em esforços curtos, de grande intensidade, como aqueles que são levados a cabo durante um treino intervalado típico, uma vez que o tempo de resposta do sistema aeróbio é demasiado lento e este tipo de trabalho é, normalmente, supramáximo (Hopkins, 1991).

Assim, a utilização do consumo de O<sub>2</sub> enquanto meio de controlo da intensidade do treino, pode não ser a mais indicada (Baldwin, Snow, & Febbraio, 2000; Skinner et al., 2000).

- **Lactatemia**

A intensidade do treino também se pode expressar em função dos valores de lactato sanguíneo. A possibilidade de utilizar analisadores de lactatemia portáteis, de utilização simples e, relativamente económicos, tornou este método de controlo da intensidade um dos mais utilizados por técnicos e atletas. Em geral, os valores de concentração de lactato aumentam acima dos valores de repouso quando a intensidade do exercício é superior a 60% da potência aeróbia máxima (Pyne, Lee & Swanwick, 2001). Quando o

exercício não é excessivamente intenso, os valores de lactatemia atingem, geralmente, um estado de equilíbrio após alguns minutos de esforço.

Tem sido dada particular atenção à determinação do Estado Estacionário Máximo de Lactatemia (EEML), que pode ser definido como a mais alta lactatemia compatível com um equilíbrio entre a taxa de produção de lactato e a sua taxa de remoção, durante um exercício de carga constante de longa duração (Beneke, 2003). Este limiar tem sido sugerido como uma medida de capacidade aeróbia, mas também como uma forma de regular a intensidade do treino, sendo que valores de lactatemia aproximados de  $4 \text{ mmol.L}^{-1}$  têm sido sugeridos como os mais favoráveis para induzir adaptações em provas de resistência (Jacobs, 1986; Pyne, Lee & Swanwick, 2001; Weltman, 1992). No entanto, Stegmann, Kindermann, and Schnabel (1981) alertam para o facto de que as diferenças intra e inter indivíduos poderem ser uma das limitações na utilização da lactatemia como forma de controlo da intensidade das cargas. Estes autores referem intervalos situados entre os 2 e os  $7,5 \text{ mmol.L}^{-1}$  como medida do EEML. Para além disso, outros fatores como a temperatura ambiente, desidratação, tipo de exercício, depleção de glicógeno muscular, nível de treino e métodos de recolha podem provocar interpretações incorretas dos níveis de lactatemia (Jacobs, 1986; Jeukendrup & Hesselink, 1994; Kirwan et al., 1988; Swart & Jennings, 2004; Urhausen, Gabriel, Weiler, & kindermann, 1998). Pelos motivos citados, Stegmann et al. (1981) consideram que a utilização da lactatemia como forma de controlo da intensidade das cargas de treino, pode ter uma utilidade limitada.



- **Frequência Cardíaca**

O controlo da frequência cardíaca (FC) é um método popular de quantificar a intensidade do exercício (Achten & Jeukendrup, 2003). Este parâmetro mostra uma resposta ao exercício semelhante ao consumo de  $O_2$  e assenta no princípio de que existe uma relação linear entre a frequência cardíaca e a taxa de trabalho, num estado estacionário (Arts & Kuipers, 1994; Hopkins, 1991; Robinson et al., 1991).

A intensidade do exercício pode expressar-se de diversas maneiras de acordo com a avaliação da frequência cardíaca. Apesar da frequência cardíaca absoluta ser, normalmente, usada, pode haver vantagens na utilização de percentagens da FC máxima, o que permite corrigir diferenças, inter e intra indivíduos, na resposta a vários tipos de exercício (Karvonen & Vuorimaa, 1988).

Contudo, existem diversos fatores que podem influenciar a relação entre a carga de treino e a FC, como o nível de treino do atleta, as condições ambientais, a duração do exercício, a altitude, a hidratação e a medicação (Achten & Jeukendrup, 2003; Robinson et al., 1991). Assim sendo, torna-se necessário alguma cautela quando se utiliza a FC como medida de intensidade (Mujika et al., 1995).

- **Impulso de Treino**

Outro método de quantificação da carga de treino baseado na frequência cardíaca é o Impulso de Treino (TRIMP), proposto, originalmente, por Banister et al. (1975). Trata-se de um índice global da carga de treino, que

integra o volume e a intensidade do mesmo, baseado na FC, e que pode ser calculado através de uma fórmula matemática simples:

$$TRIMP = Volume da carga de treino \times FC_{média} \quad (1)$$

Este método, no entanto, apresentava como grande lacuna, o facto de não ter em conta o impacto específico dos diferentes níveis de intensidade experimentados durante um treino. Por exemplo, nadar 2000 m a 50% da  $FC_{máx}$  produz o mesmo TRIMP do que nadar 1000 m a 100%, e, conseqüentemente, tem o mesmo impacto nos níveis de fadiga e de adaptação (Taha & Thomas, 2003).

Posteriormente, Banister, MacDougall, and Wenger (1991), procurando ultrapassar estas limitações, refinaram o método de cálculo dos TRIMP, introduzindo um fator de multiplicação que tem em conta o aumento exponencial da lactatemia, em função da intensidade.

Assim, a carga de uma determinada sessão pode ser calculada como um produto entre o volume, a intensidade, determinada em função da FC, e um fator multiplicativo, isto é.

$$TRIMP = t \times \Delta FC \times y \quad (2)$$

onde

$$\Delta FC = \frac{FC_{exercício} - FC_{repouso}}{FC_{máx} - FC_{repouso}},$$

$t$  é o tempo de duração do treino, em minutos e  $y$  é o fator multiplicativo dado por  $0,64 \times e^{1,92 \times \Delta FC}$  para o sexo masculino e  $0,86 \times e^{1,67 \times \Delta FC}$  para o sexo feminino, sendo “e” o número de Neper com valor 2,712 (Banister, 1991).

Este método permite uma quantificação simples e prática das cargas de treino, desde o exercício simples até às estruturas mais complexas (Microciclo, Mesociclo e Macrociclo) e é utilizável em qualquer tipo de

esforço, contínuo ou intermitente (Banister et al., 1991; Wallace et al., 2014). No entanto, em esforços máximos de curta duração, a resposta da FC pode ser ténue, apesar das manifestações de força ou potência serem elevadas. Para além disso, a resposta da FC não é indicativa da contribuição anaeróbia como substrato energético na realização de certas tarefas (Hayes & Quinn, 2009). Isto é claramente demonstrado pela natureza exponencial da resposta da lactatemia a um exercício aeróbico progressivo (Walsh, 2000), em contraste com a resposta linear da FC. De facto, Fitz-Clarke et al. (1991) demonstraram que um exercício de baixa intensidade e longa duração pode, de forma errónea, fornecer valores de TRIMP mais elevados do que exercícios aeróbios de alta intensidade.

- **Unidades Arbitrárias da Carga**

Mujika et al. (1995) procuraram desenvolver um método que permitisse categorizar a carga de treino em diferentes níveis baseados também nas diferentes intensidades.

Os autores, num estudo com nadadores de elite, durante uma época competitiva, realizaram vários testes progressivos de forma a relacionar a velocidade de nado com os níveis de lactatemia. Desta forma, e de acordo com os testes protocolares, Mujika et al. (1995), conseguiram determinar 5 níveis de intensidade:

- Intensidade I – Velocidades abaixo do limiar láctico ( $\approx 2 \text{ mmol.L}^{-1}$ );
- Intensidade II – Velocidade correspondente ao EEML ( $\approx 4 \text{ mmol.L}^{-1}$ );
- Intensidade III – Velocidade ligeiramente superior ao EEML ( $\approx 6 \text{ mmol.L}^{-1}$ );

- Intensidade IV – Velocidade correspondente a altas lactatemias ( $\approx 10 \text{ mmol.L}^{-1}$ );
- Intensidade V – Velocidade máxima (*sprint*).

O volume nadado em cada uma destas zonas de intensidade foi associado a um índice de stress de forma a ter em conta o impacto fisiológico produzido por cada intensidade de nado (Mujika et al., 1996).

Mujika et al. (1996) consideram que os valores da lactatemia representam, de forma satisfatória, as exigências fisiológicas de diferentes tipos de tarefas de treino, optando assim, por usar estes valores como coeficientes de ponderação para as intensidades de treino. Uma vez que a velocidade de *sprint*, apesar de ser um tipo de treino muito exigente, não tem o seu impacto fisiológico espelhado nos valores da lactatemia, Mujika et al. (1995), estimaram o valor de  $16 \text{ mmol.L}^{-1}$  para esta zona de intensidade.

Dividindo os valores da lactatemia para os tornar mais facilmente manejáveis, Mujika et al. (1995) indicam os valores de 1, 2, 3, 5 e 8 como os coeficientes de ponderação para as respetivas zonas de intensidade.

Desta forma, o impacto das cargas de treino pode ser calculado através da soma do volume de metros nadados em cada zona de intensidade, multiplicados pelo respetivo coeficiente de ponderação, com o equivalente respetivo à preparação física (PF) fora de água (Mujika et al., 1996):

$$W = 1 Km I + 2 Km II + 3 Km III + 5 Km IV + 8 Km V + PF \quad (3)$$

em que  $W$  representa o total de estímulos de treino, num dado período, medidos em Unidades Arbitrárias da Carga (UAC).

## 2.2 *Taper*

Atletas, treinadores e cientistas têm vindo, de uma forma progressiva, a aumentar os limites da capacidade de adaptação humana às cargas de treino, com o objetivo de melhorar a capacidade de desempenho em competição. Em muitos casos, este aumento da capacidade de desempenho está associado a uma redução das cargas de treino nos dias que antecedem essa competição. Esta redução das cargas de treino é, geralmente, conhecida como *taper* (Mujika & Padilla, 2003) ou Mesociclo de Preparação Terminal, e a sua compreensão, bem como das suas implicações na organização do processo de treino é crucial para a rentabilização deste período, e consequentemente, para a otimização dos resultados dos atletas (Mujika, 2009).

Ao longo do tempo, têm surgido diversas definições para o *taper*:

- Uma redução do nível da intensidade de treino de forma a permitir ao atleta descansar e preparar-se para um bom desempenho (Yamamoto, Mutoh, & Miyashita, 1998);
- Uma técnica de treino especializada que permite reduzir a fadiga provocada pelo processo de treino sem perder adaptações (Neary, Martin, & Quinney, 2003);
- Uma redução progressiva no volume de treino, 7 a 21 dias antes da competição (Houmard & Johns, 1994);
- Uma redução progressiva, mas não-linear, da carga de treino durante um período relativamente curto, mas variável, com o objetivo de reduzir o stress fisiológico e psicológico proveniente das sessões de

treino e de promover a otimização imediata da forma desportiva (Mujika & Padilla, 2000a);

- Um período de tempo, que antecede uma competição, em que as cargas de treino são reduzidas de forma a se atingir um pico de desempenho na altura desejada (Thomas & Busso, 2005);
- Um período de tempo, em que o volume de treino é reduzido e a intensidade de treino aumentada, que antecede uma competição (McNeely & Sandler, 2007).

Parece ser um ponto comum, dentro destas definições, a necessidade de reduzir as cargas de treino, de forma a permitir uma recuperação, por parte do atleta, conducente a um pico da capacidade de desempenho em determinada competição.

Mujika (2009) com uma definição mais abrangente, considera que o *taper* é um período de tempo, que antecede uma competição principal, em que as cargas de treino são reduzidas de forma progressiva, principalmente à custa da redução do volume da carga, e que tem uma duração variável de acordo com as características individuais de cada atleta. Este autor considera, também, que o *taper* se destina a reduzir a fadiga psicológica e fisiológica, acumulada durante o processo de treino, de forma a potenciar as adaptações ao treino e a otimizar a capacidade de desempenho.

### 2.2.1 Modelos de *Taper*

Ao longo dos anos, diferentes modelos e padrões de *taper* têm sido descritos e utilizados na tentativa de otimizar o desempenho em competição. Estes modelos de *taper* incluem um modelo linear, em que as cargas são reduzidas de uma forma sistemática e linear, e que, normalmente, implica uma maior carga de treino durante esse período (Mujika & Padilla, 2003); um modelo exponencial, em que as cargas são reduzidas de uma forma sistemática e exponencial, e que pode ter duas variantes: uma redução rápida ou lenta das cargas de treino, sendo que a variante lenta apresenta, de uma forma geral, maiores cargas de treino; e um modelo por patamares, que envolve uma redução abrupta, das cargas de treino, que se mantém constante durante o período de *taper* (Pyne, Mujika, & Reilly, 2009).

Bosquet, Montpetit, Arvisais, and Mujika (2007) consideram que a forma como se processa a redução das cargas de treino pode influenciar o resultado do *taper*. Estes autores optaram por juntar o modelo linear e o exponencial numa única classificação e chamaram-lhe *taper* progressivo. Ainda de acordo com Bosquet et al. (2007) o modelo progressivo parece apresentar melhores resultados na otimização da performance em nadadores e corredores, enquanto o modelo por patamares parece ser favorável no *taper* de ciclistas. No entanto, os autores alertam para a necessidade de se olhar para estes resultados com cautela, uma vez que a dimensão da amostra usada no estudo era demasiado reduzida e heterogénea.

Relativamente ao *taper* progressivo, alguns estudos sublinham que uma redução rápida da carga parece ser mais favorável à otimização da capacidade de desempenho, do que uma redução lenta (Banister, Carter, & Zarcadas, 1999), uma vez que assim haveria mais tempo disponível para reduzir os efeitos da fadiga induzidos pelas últimas semanas de treino intenso, antes do período de *taper* (Pyne et al., 2009).

Uma estratégia alternativa de *taper* foi proposta por Bosquet et al. (2007) e consistia numa redução das cargas de treino, seguida de um novo aumento das cargas nos três dias que antecederam a competição. Os autores chamaram a esta alternativa *taper* de 2-fases e o princípio subjacente a este conceito assenta no facto de que a redução da fadiga permite uma melhoria na tolerância às cargas de treino, o que permite ao atleta uma resposta mais efetiva ao treino durante o período de *taper*. Posteriormente, Thomas, Mujika, and Busso (2009) usaram um modelo matemático não-linear para determinar se um *taper* de 2-fases seria mais eficaz do que o *taper* progressivo “simples”. Os autores utilizaram parâmetros determinados num estudo anterior (Thomas et al., 2008) para modelar as respostas ao treino em seis não-atletas, treinados num cicloergómetro, e em sete nadadores sujeitos às condições de treino habituais, e compararam os efeitos do *taper* linear e do *taper* de 2-fases após 28 dias de treino intenso. O *taper* de 2-fases foi idêntico ao *taper* linear, exceto nos últimos três dias em que a carga variou de forma a maximizar o desempenho de cada participante. No *taper* linear houve uma redução das cargas de treino, nos últimos três dias, entre os 32 e os 49% e no *taper* de 2-fases um acréscimo da carga entre os 23 e os 29% para os mesmos três dias. No final do estudo, as simulações de



desempenho mostraram uma evolução na capacidade de desempenho, para os dois tipos de *taper*, havendo, no entanto, uma ligeira melhoria no *taper* de 2-fases ( $0,01\% \pm 0,01\%$ ). De acordo com os autores, os efeitos negativos do treino (NTEs - *Negative Training Effects*) foram completamente dissipados durante ambos os *tapers*, mas notou-se uma ligeira evolução nos efeitos positivos (PTEs - *Positive Training Effects*) durante o *taper* de 2-fases. Assim, Thomas et al. (2009) mostraram, através da utilização de modelos matemáticos e de simulações, que um incremento da carga de treino entre 20 e 30% nos últimos dias do *taper*, poderia promover adaptações adicionais, sem comprometer a remoção da fadiga acumulada.

Podemos então sintetizar os aspetos relacionados com a metodologia e as implicações do *taper* da seguinte forma:

- 1) O principal objetivo do *taper* deverá ser minimizar a fadiga acumulada e não tanto tentar provocar adaptações ou incrementos na condição física. Este objetivo deverá ser conseguido sem comprometer os níveis de condição física e as adaptações previamente adquiridas (Mujika & Padilla, 2003).
- 2) A manutenção da intensidade das cargas de treino (a qualidade do treino) é necessária para evitar o destreino, desde que reduções nas outras variáveis da carga de treino permitam uma suficiente recuperação, de forma a otimizar a capacidade de desempenho (Bosquet et al., 2007).
- 3) As reduções no volume de treino até 41-60% parecem provocar respostas (fisiológicas, psicológicas e de desempenho) positivas, em atletas bem treinados (Bosquet et al., 2007).

4) De acordo com Mujika and Padilla (2003), frequências de treino elevadas parecem ser necessárias para evitar o destreino e/ou a perda de sensibilidade técnica em atletas bem treinados. Por outro lado, as adaptações induzidas pelo treino podem ser razoavelmente mantidas com frequências de treino relativamente baixas, em atletas com níveis moderados de treino. No entanto, Bosquet et al. (2007) consideram que a redução na frequência de treino é indissociável de outras variáveis da carga como a intensidade e o volume, o que torna difícil isolar o efeito preciso da redução das frequências de treino.

5) A análise da literatura mostra-nos que a duração ótima do *taper* parece ser de duas semanas, no entanto podem-se atingir bons desempenhos com um *taper* mais longo ou mais curto (LeMeur et al., 2012).

6) Um *taper* progressivo parece ter um impacto positivo mais pronunciado na capacidade de desempenho, do que um *taper* por patamares (Bosquet et al., 2007). Thomas et al. (2009) consideram que o *taper* poderia ser otimizado com um aumento das cargas de treino entre 20 e 30%, nos últimos três dias deste período.

7) Um objetivo realista para o desempenho em competição, após um período de *taper*, deverá prever melhorias no desempenho na ordem dos 3% (LeMeur et al., 2012).

### 2.2.2 Efeitos do *Taper*

Como já foi descrito, o *taper* é uma fase do processo de treino em que as cargas são, progressivamente reduzidas, durante um período de tempo variável, de forma a permitir uma recuperação fisiológica e psicológica, conducente à otimização da capacidade de desempenho, na altura desejada. A relação entre a redução das cargas de treino, durante o período de *taper*, e a evolução da capacidade de desempenho é globalmente aceite (Houmard & Johns, 1994; Mujika, 1998; Mujika & Padilla, 2003; Pyne et al., 2009; Toubekis et al., 2013). No entanto, desde o início do século, têm sido poucos os artigos de revisão que procuram relacionar as alterações fisiológicas, que ocorrem nos atletas quando se preparam para uma competição, com os efeitos do *taper*. Algumas das alterações fisiológicas mais relevantes, durante o processo de *taper*, ocorrem a nível cardio-respiratório e metabólico, permitindo aos atletas uma otimização dos substratos energéticos disponíveis (Mujika, 2009).

Procuraremos, de seguida fazer uma revisão das alterações fisiológicas associadas ao período de *taper*.

- **Adaptações Cardio-Respiratórias**

- (i) Consumo Máximo de O<sub>2</sub>

A investigação tem demonstrado que o Consumo Máximo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2máx</sub>) pode aumentar (Banister et al., 1999; Jeukendrup, Hesselink, Snyder, Kuipers, & Keizer, 1992; Neary, Martin, et al., 2003; Zarcadas, Carter, &

Banister, 1995) ou manter-se constante, sem prejuízo para a capacidade de desempenho, durante o período de *taper*, em atletas de elite (D'Acquisto et al., 1992; Dressendorfer, Petersen, Lovshin, & Keen, 2002; Harber, Gallagher, Creer, Minchev, & Trappe, 2004; Houmard, Scott, Justice, & Chenier, 1994; Shepley et al., 1992) (Tabela 3).

Por outro lado, de acordo com Mujika, Padilla, Pyne, and Busso (2004) um decréscimo nos valores de  $VO_{2máx}$ , durante o *taper*, em atletas de resistência, pode ser um indicador de um *taper* mal estruturado.

*Tabela 3: Efeitos do taper no consumo máximo de  $O_2$  (Adaptado de Mujika et al., 2009).*

Estudo (ano)	Atletas	Taper (dias)	$VO_{2máx}$	Testes realizados	Alterações no desempenho (%)
Van Handel et al. (1988)	Nadadores	20	↔	NR	NR
Houmard et al. (1990)	Corredores	21	↔	5 Km	↔
D'Acquisto et al. (1992)	Nadadores	14-28	↔	100 m, 400 m	4,0-8,0 ↑
Jeukendrup et al. (1992)	Ciclistas	14	↑	8,5 Km	7,2 ↑
Shepley et al. (1992)	Corredores	7	↔	cor até exaustão	6-22 ↑
McConnell et al. (1993)	Corredores	28	↔	5 Km	1,2 ↓
Houmard et al. (1994)	Corredores	7	↔	5 Km	2,8 ↑
Zarcadas et al. (1995)	Triatlo	14	↑	5 Km	1,2-6,3 ↑
Banister et al. (1999)	Triatlo	14	↑	TPM	1,5-7,9 ↑
Rietjens et al. (2001)	Ciclistas	21	↔	TPM	↔
Dressendorfer et al. (2002)	Ciclistas	10	↑ ligeiro	20 Km	1,2 ↑
Margaritis et al. (2003)	Triatlo	14	↑	30 Km	1,6-3,6 ↑
Neary et al. (2003)	Ciclistas	7	↑	20 Km	5,4 ↑
Neary et al. (2003)	Ciclistas	7	↑	40 Km	2,2-4,3 ↑
Harber et al. (2004)	Corredores	28	↔	8 Km	1,1 ↑
Coutts et al. (2007)	Corredores	14	↔	3 Km	3,9 ↑

↑ acréscimo; ↑ decréscimo; ↔ manutenção; NR - não reportado; TPM – teste progressivo máximo; cor- corrida

## (ii) Economia de Movimento

A economia de movimento é definida como o custo de  $O_2$  num exercício a uma intensidade submáxima (Mujika et al., 2004). À partida, um custo de  $O_2$  mais baixo, ou seja, uma melhor economia de movimento, após o período de *taper*, pode contribuir para uma evolução na capacidade de desempenho;

mas, no entanto, os estudos relativos à variação da economia de movimento em função do *taper* têm sido díspares.

Houmard et al. (1994) num estudo com corredores, reportam uma redução na ordem dos 7% (0,9 kcal/min) no dispêndio energético submáximo para correr a uma intensidade de 80% do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , em passeadeira, após o período de *taper*. Por outro lado, Harber et al. (2004) não registaram quaisquer alterações na economia de movimento, também num estudo com corredores, após quatro semanas de *taper*.

Também, nos estudos com nadadores, os resultados têm sido antagónicos. Evoluções na economia de nado foram descritas por D'Acquisto et al. (1992) e por Johns et al. (1992) em nadadores universitários, enquanto um estudo anterior de Handel, Katz, Troup, Daniels, and Bradley (1988) não apresenta quaisquer alterações após o processo de *taper*.

Mujika et al. (2004) consideram que as discrepâncias observadas nos estudos citados podem-se ficar a dever a diferenças no processo de treino e no *taper* dos sujeitos envolvidos nos estudos, bem como ao seu nível desportivo.

### (iii) Oxigenação Muscular

Neary, McKenzie, and Bhambhani (2005) usaram a técnica NIRS (near-infrared spectroscopy) para estudar os efeitos do *taper* na oxigenação muscular, em ciclistas. Os autores referem um aumento da extração de  $\text{O}_2$ , no músculo, induzido pelo *taper* e associado à melhoria da capacidade de desempenho.

## (iv) Função Cardíaca

Não têm sido descritas grandes alterações nas funções cardíacas em resultado do *taper* (Tabela 4).

*Tabela 4: Efeitos do taper na frequência cardíaca (Adaptado de Mujika et al., 2009).*

Estudo (ano)	Atletas	Taper (dias)	FC repouso	FC máxima	FC sub-máxima	Testes realizados	Alterações no desempenho (%)
Costill et al. (1985)	Nadadores	14	NR	NR	↔	50-1500 m	2,2-4,6 ↑
Houmard et al. (1989)	Corredores	10	NR	↔	↔	TPM	↔
Houmard et al. (1990)	Corredores	21	NR	↑ ligeiro	↔	5 Km	↔
D'Acquisto et al. (1992)	Nadadores	14-28	NR	↓	↔	100 m, 400 m	4,0-8,0 ↑
Jeukendrup et al. (1992)	Ciclistas	14	↓	↑	↑	8,5 Km	7,2 ↑
McConell et al. (1993)	Corredores	28	↔	↑ ligeiro	↔	5 Km	1,2 ↓
Flynn et al. (1994)	Corredores	21	↔	NR	↔	cor até exaustão	↔
	Nadadores		↔	NR	NR	23 m, 366 m	≈ 3 ↑
Houmard et al. (1994)	Corredores	7	NR	↔	↑ ligeiro	5 Km	2,8 ↑
Stone et al. (1996)	Halterofilistas	7-28	↔	NR	↔	Competição	8,0-17,5 Kg ↑
Haykowsky et al. (1996)	Nadadores	14	↔	NR	NR	NR	NR
Hooper et al. (1999)	Nadadores	14	↔	↑ ligeiro	NR	100 m	↔
Martin and Andersen (2000)	Ciclistas	7	NR	↑ ligeiro	↔	TPM	≈ 6 ↑
Rietjens et al. (2001)	Ciclistas	21	NR	↔	↔	TPM	↔
Dressendorfer et al. (2002)	Ciclistas	10	NR	NR	↔	20 Km	1,2 ↑
Neary et al. (2003)	Ciclistas	7	NR	NR	↔	20 Km	5,4 ↑
Kennedy et al. (2012)	Nadadores	25	↔	↓	NR	NR	NR
Toubekis et al. (2013)	Nadadores	12	NR	NR	↔	7x200 prog	↔

↑ acréscimo; ↓ decréscimo; ↔ manutenção; NR - não reportado; TPM – teste progressivo máximo, cor - corrida; prog - progressivo

No que diz respeito à frequência cardíaca de repouso, Haykowsky, Smith, Malley, Norris, and Smith (1998), Flynn et al. (1994), Hooper, Mackinnon, and Howard (1999), McCónell et al. (1993) e Kennedy, Tamminen, and Holt (2012) não encontraram alterações à frequência cardíaca de repouso em atletas de diferentes modalidades e sujeitos a diferentes processos de *taper*. Por outro lado, Jeukendrup et al. (1992) reporta um decréscimo de 54 para 51 bat/min, na frequência cardíaca de repouso, num grupo de ciclistas, após duas semanas de *taper*. No entanto, estes atletas tinham sido, propositadamente levados a um estado de sobressolicitação, (definido por Kreider, Fry, and O'Toole (1998) como uma acumulação de stress resultante

do treino e de outros fatores exteriores ao treino, que resulta num decréscimo, a curto prazo, da capacidade de desempenho, com ou sem sintomas fisiológicos ou psicológicos de sobretreino, e cujo retorno à normalidade pode levar de vários dias a várias semanas) o que, de acordo com Achten and Jeukendrup (2003) pode provocar frequências cardíacas de repouso anormalmente altas.

Em relação à frequência cardíaca máxima ( $FC_{\text{máx}}$ ), os resultados das investigações que a procuraram relacionar com o *taper*, são variados e pouco consistentes. D'Acquisto et al. (1992) encontraram valores mais baixos de  $FC_{\text{máx}}$ , num grupo de nadadores, após um período de *taper*, enquanto Martin and Andersen (2000), Hooper et al. (1999), Houmard et al. (1990), McCónell et al. (1993), e Kennedy et al. (2012), em estudos diferentes, apresentam ligeiros aumentos na  $FC_{\text{máx}}$ , como resultado do *taper*. Também relativamente à frequência cardíaca submáxima ( $FC_{\text{sub}}$ ), a literatura disponível não refere alterações significativas, em função do *taper* (Costill, King, Thomas, & Hargreaves, 1985; D'Acquisto et al., 1992; Dressendorfer et al., 2002; Flynn et al., 1994; Houmard et al., 1990; Houmard, Kirwan, Flynn, & Mitchell, 1989; Martin & Andersen, 2000; Neary, Martin, et al., 2003; Rietjens, Keizer, Kuipers, & Saris, 2001; Toubekis et al., 2013).

- **Adaptações Metabólicas**

O metabolismo energético associado ao esforço pode sofrer alterações durante o processo de *taper*, uma vez que o decréscimo das cargas de treino e, conseqüentemente, a recuperação da fadiga acumulada, reduz

também o dispêndio energético diário, por parte dos atletas, influenciando o seu equilíbrio energético e a sua composição corporal (Mujika, 2009).

Vários autores têm descrito um aumento do pico de concentração de lactato sanguíneo ( $La_{máx}$ ), após um esforço máximo, como consequência do *taper* (Bonifazi, Sardella, & Luppo, 2000; D'Acquisto et al., 1992; Handel et al., 1988; Jeukendrup et al., 1992; Mujika et al., 2000, 2002; Shepley et al., 1992; Steinnacker et al., 2000) (Tabela 5). Esta variação, de acordo com Houmard et al. (1994), pode estar relacionada com o aumento dos níveis de glicogénio muscular, após o *taper*, o que pode ajudar a sustentar a evolução da capacidade de desempenho dos atletas (Bonifazi et al., 2000; Mujika et al., 2000, 2002).

Tabela 5: Efeitos do taper na concentração de lactato (Adaptado de Mujika et al., 2009).

Estudo (ano)	Atletas	Taper (dias)	Pico [La]	[La] sub-máximo	Alterações no desempenho (%)
Costill et al. (1985)	Nadadores	14	NR	↓	2,2-4,6 ↑
Van Handel et al. (1988)	Nadadores	20	↑ ligeiro	↑ ligeiro	NR
D'Acquisto et al. (1992)	Nadadores	14-28	↑	↓	4,0-8,0 ↑
Jeukendrup et al. (1992)	Ciclistas	14	↑	NR	7,2 ↑
Jonhs et al. (1992)	Nadadores	10-14	NR	↔	2,0-3,7 ↑
Shepley et al. (1992)	Corredores	7	↑ ligeiro	NR	6-22 ↑
McConnell et al. (1993)	Corredores	28	NR	↑	1,2 ↓
Flynn et al. (1994)	Nadadores		NR		≈ 3 ↑
Houmard et al. (1994)	Corredores	7	NR	↔	2,8 ↑
Stone et al. (1996)	Halterofilistas	7-28	NR	↔	8,0-17,5 Kg ↑
Kenitzer (1998)	Nadadores	14-28	NR	↓ 14 dias ↑ 21-28 dias	≈ 4 ↑
Bonifazi et al. (2000)	Nadadores	14-21	↑	NR	1,5-2,1 ↑
Mujika et al. (2000)	Corredores	6	↑ ligeiro	NR	↔
Smith (2000)	Remadores	7	↔	NR	↔
Steinacker et al. (2000)	Remadores	7	↑ ligeiro	NR	6,3 ↑
Rietjens et al. (2001)	Ciclistas	21	NR	↔	↔
Mujika et al. (2002)	Corredores	6	↑	NR	0,4-1,9 ↑
Papoti et al. (2007)	Nadadores	11	↑ ligeiro	NR	1,6 ↑
Toubekis et al. (2013)	Nadadores	12	NR	↔	↔

↑ acréscimo; ↓ decréscimo; ↔ manutenção; NR - não reportado



Contudo, outros autores não encontraram variações no  $La_{máx}$  em estudos com remadores (Smith, 2000) e nadadores (Papoti, Martins, Cunha, Zagatto, & Gobatto, 2007).

Relativamente às concentrações de lactato sanguíneo em intensidades submáximas ( $La_{sub}$ ), a literatura mostra-nos, também, respostas variadas após o *taper* (Tabela 5). Kenitzer (1998), D'Acquisto et al. (1992) e Costill et al. (1985) encontraram reduções nos valores de  $La_{sub}$ , em estudos com atletas de diferentes modalidades, e com diferentes períodos de *taper*, enquanto Flynn et al. (1994), Houmard et al. (1994), Johns et al. (1992), Rietjens et al. (2001) e Toubekis et al. (2013) não apresentam quaisquer alterações aos valores de  $La_{sub}$ , após o período de *taper*.

No entanto, outros autores descrevem aumentos de  $La_{sub}$ , em diferentes estudos (Handel et al., 1988; McCónell et al., 1993).

Esta inconsistência de resultados, nos diferentes estudos citados, pode ficar a dever-se, de acordo com (Mujika, 2009), a diferentes tipos e a diferentes durações do *taper* utilizados nos estudos.

## • Adaptações Psicológicas

Mujika et al. (2004) consideram improvável que as alterações fisiológicas, induzidas pelo *taper*, consigam explicar totalmente a evolução da capacidade de desempenho dos atletas. Este autor salienta que, uma vez que a performance em competição é o resultado de um esforço consciente, a contribuição de fatores psicológicos e motivacionais não pode ser subvalorizada. Assim, a otimização de vários indicadores fisiológicos do atleta, em resultado do *taper*, deve vir acompanhada de alterações

psicológicas, como os estados de humor e a perceção subjetiva de esforço (PSE) (Mujika, 2009).

Vários estudos têm utilizado o POMS (Profile of Mood States), desenvolvido por McNair, Lorr, and Droppleman (1971), e a PSE como instrumentos para avaliar as alterações psicológicas associadas ao *taper* (Tabela 6). Coutts, Wallace, and Slattery (2007) descrevem a evolução do estado psicológico como um fator importante na otimização da capacidade de desempenho após o *taper*. Estes autores referem ainda que a redução das cargas de treino associada ao *taper* facilita a recuperação dos estados de humor, induz reduções nos níveis de perceção de fadiga, depressão, raiva e confusão e aumenta a sensação de vigor.

*Tabela 6: Efeitos do taper nos estados de humor e na PSE (Adaptado de Mujika et al., 2009).*

Estudo (ano)	Atletas	Taper (dias)	Estados de humor	PSE	Testes realizados	Alterações no desempenho (%)
Morgan et al. (1987)	Nadadores	28	↑	↓	NR	NR
Raglin et al. (1991)	Nadadores	28	↑	NR	NR	NR
Snyder et al. (1993)	Ciclistas	14	NR	↓	NR	NR
D'Acquisto et al. (1992)	Nadadores	14-28	NR	↓	100 m, 400 m	4,0-8,0 ↑
Berglung and Säfström (1994)	Remadores	21	↑	NR	NR	NR
Flynn et al. (1994)	Corredores	21	↔	↔	Cor até exaustão	↔
	Nadadores		↑	↓	23 m, 366 m	≈ 3 ↑
Houmard et al. (1994)	Corredores	7	NR	↔	5 Km	2,8 ↑
Raglin et al. (1996)	Nadadores	28-35	↑	NR	Competição	2,0 ↑
Berger et al. (1997)	Nadadores	7	↑	NR	NR	NR
Taylor et al. (1997)	Nadadores	NR	↓	NR	Competição	1,3 ↑
Hooper et al (1998)	Nadadores	14	↑	NR	100 m, 400 m	↔
Berger et al. (1999)	Ciclistas	14	↑	NR	4 Km PS	2,0 ↑
Hooper et al (1999)	Nadadores	14	↔	NR	100 m	↔
Martin and Andersen (2000)	Ciclistas	7	NR	↓	TPM	≈ 6 ↑
Martin et al. (2000)	Ciclistas	7	↔	NR	TPM	≈ 6 ↑
Steinacker et al. (2000)	Remadores	7	↑	NR	2 Km competição	6,3 ↑
Margaritis et al. (2003)	Triatlo	14	↑	NR	30 Km duatlo	1,6-3,6 ↑
Neary et al. (2003)	Ciclistas	7	NR	↔	20 Km	5,4 ↑
Coutts et al. (2007)	Triatletas	14	↑	NR	3 Km	3,9 ↑

↑ acréscimo; ↓ decréscimo; ↔ manutenção; NR - não reportado; PSE – perceção subjetiva de esforço; TPM – teste progressivo máximo; PS – perseguição simulada; cor - corrida

## 2.3 Modelos

O objetivo principal de qualquer treinador ou atleta é aumentar as suas capacidades técnicas, físicas e psicológicas, de forma que lhes permita o mais alto nível de desempenho, e desenvolver um programa de treino preciso e controlado que garanta que essa capacidade máxima de desempenho é alcançada na altura certa da época, ou seja, na altura das competições principais.

Os treinadores abordam, normalmente, a relação entre o treino e o desempenho de uma forma muito empírica. As expectativas relativas à performance de um atleta são fundamentadas pelo acompanhamento diário e pela experiência e conhecimento do treinador (Taha & Thomas, 2003). Num esforço para compreender melhor e otimizar a capacidade de desempenho dos atletas, têm sido desenvolvidos ao longo das últimas décadas modelos matemáticos de desempenho e de gestão das cargas de treino.

Os modelos matemáticos têm sido utilizados para estudar a resposta aguda ao exercício de treino (Swanson, 1990), mas poucos investigadores procuraram relacionar, de uma forma quantitativa, o processo de treino com a performance (Taha & Thomas, 2003). Estes modelos procuram integrar os princípios do treino em estruturas coerentes que podem ser usadas como ponto de partida para uma avaliação crítica do processo de treino. Podem também ser usados como guias conceptuais de um programa de treino, otimizando esse programa para cada atleta, uma vez que os dados recolhidos e as respostas do modelo são específicas para o indivíduo. Desta

forma, estes modelos de desempenho têm vindo a dar o seu contributo em muitas subdisciplinas da fisiologia do exercício, incluindo a bioquímica do metabolismo muscular, a regulação cardiovascular, o transporte de  $O_2$ , a função endócrina e a regulação da temperatura corporal (Beek et al., 2011; Dash, Li, Kim, Saidel, & Cabrera, 2008; Keenan & Veldhuis, 2003; Kofranek & Rusz, 2010; Kushmerick, 2005; Wagner, 2011; Yates, 2003). Os modelos matemáticos tornam-se assim uma ferramenta útil porque são uma forma eficiente e efetiva de expressar e avaliar hipóteses sobre sistemas biológicos complexos (Lauffenburger & Linderman, 1993). Vários estudos têm indicado que o desenvolvimento deste tipo de modelos matemáticos pode melhorar a compreensão dos efeitos do treino na otimização da capacidade de desempenho (Busso, 2003; Fitz-Clarke et al., 1991; Mujika et al., 1996; Thomas & Busso, 2005; Thomas et al., 2008). Têm, também, sido utilizados de forma a investigar o taper em atletas (Banister et al., 1999; Jeukendrup & Hesselink, 1994; Mujika et al., 1996; D. Pyne, Mujika, & Reilly, 2009), as transferências dos efeitos do treino, entre modalidades, em tri-atletas (Millet et al., 2002) e os efeitos psicológicos do treino (Millet, Groslambert, Barbier, Rouillon, & Candau, 2005).

### **2.3.1 Modelo de Banister**

No sentido de descrever a performance individual de nadadores em função do processo de treino, em 1975, Banister e seus colaboradores

desenvolveram um modelo que é ainda hoje uma referência (Banister et al., 1975).

Banister et al. reconheceram a dificuldade em traduzir os resultados conseguidos em estudos sobre o treino para o terreno e procuraram desenvolver um modelo matemático que ajudasse a perceber a resposta de um atleta às cargas de treino. De acordo com este modelo, a capacidade de desempenho de um atleta, em qualquer altura do processo de treino, poderia ser estimada através de um sistema constituído por um *input* (cargas de treino) e um *output* (capacidade de desempenho), relacionados por uma lei matemática designada por função de transferência.

O modelo de Banister parte do pressuposto que a capacidade de desempenho de um atleta está dependente do equilíbrio entre dois efeitos antagonistas do processo de treino: um efeito positivo atribuído à adaptação e um efeito negativo atribuído à fadiga. Os autores defenderam que a dinâmica desse desempenho se comporta como um sistema de primeira ordem, ou seja, um sistema cujo comportamento varia ao longo do tempo e que pode ser modelado usando equações diferenciais ordinárias. Assim, propuseram que o efeito de adaptação fosse modelado por uma equação diferencial da forma

$$\frac{dT(t)}{dt} = k_1 (w(t) - T(t)) \quad (4)$$

onde  $T(t)$  representa a adaptação no instante  $t$ ,  $k_1$  é uma constante multiplicativa e  $w(t)$  é uma medida da quantidade e intensidade do treino realizado no instante  $t$ . Trata-se, portanto, de uma equação diferencial de primeira ordem que tem como solução (ver Apêndice A)

$$T(t) = k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-k_1(t-i)} \quad (5)$$

Em trabalho posterior (Calvert, Banister, savage, & Bach, 1976), a equação foi ligeiramente alterada, passando a ser descrita como

$$\frac{dT(t)}{dt} + \frac{1}{\tau_1} T(t) = k_1 w(t) \quad (6)$$

em que  $\tau_1$  representa a constante de decaimento relativa à adaptação.

Assim, a correspondente solução é

$$T(t) = k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1} \quad (7)$$

De modo análogo, o efeito de fadiga seria descrito por uma equação diferencial

$$\frac{dF(t)}{dt} + \frac{1}{\tau_2} F(t) = k_2 w(t) \quad (8)$$

onde  $F(t)$  representa a fadiga no instante  $t$ ,  $\tau_2$  a constante de decaimento relativa à fadiga e  $k_2$  uma constante multiplicativa.

Neste modelo, a capacidade de desempenho corresponderia então à diferença entre os efeitos positivos do treino, atribuídos à adaptação, e os efeitos negativos atribuídos à fadiga, isto é

$$\hat{p}(t) = p_0 + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1} - k_2 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_2} \quad (9)$$

em que  $\hat{p}(t)$  representa a performance no instante  $t$  e  $p_0$  a performance inicial. A equação anterior pode ainda ser escrita na forma

$$\hat{p}(t) = p_0 + g(t) - h(t) \quad (10)$$

em que

$$g(t) = k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1} \quad \text{e} \quad h(t) = k_2 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_2} \quad (11)$$

Uma propriedade interessante das funções  $g(t)$  e  $h(t)$  é serem recursivas e facilmente se verifica (ver Apêndice A) que

$$g(t) = (g(t-1) + k_1 w(t-1)) e^{-1/\tau_1} \quad (12)$$

$$h(t) = (h(t-1) + k_2 w(t-1)) e^{-1/\tau_2} \quad (13)$$

O modelo descreve de uma forma sucinta, a relação dose-resposta do indivíduo ao treino e lida com os complexos fatores de dependência não linear e individualidade numa única estrutura.

O modelo incorpora parâmetros que são constantes e caracteriza a resposta de cada atleta ao processo de treino. Os parâmetros do modelo são ajustados a cada atleta através da sua resposta a um determinado programa de treino. O conhecimento destes parâmetros permite então modelar a capacidade de desempenho durante um período específico de treino (Thomas & Busso 2005, Thomas et al., 2008).

Em resposta a determinada carga de treino, os NTEs sobrepõem-se aos PTEs, o que provoca um decréscimo na capacidade de desempenho. No entanto, os NTEs dissipam-se mais rapidamente, havendo, portanto, um momento, a partir do qual os PTEs são preponderantes, conduzindo a um aumento da capacidade de desempenho. Assim, o modelo de Banister tem cinco parâmetros ajustáveis que incluem um valor de desempenho inicial, duas constantes temporais que descrevem o decaimento dos PTEs e dos NTEs e outras duas constantes que refletem a forma como as cargas de treino diárias condicionam a amplitude dos PTEs e NTEs.

Desde então, o modelo de Banister tem sido aplicado em diversas modalidades como atletismo (Morton et al., 1990; Wood et al., 2005), natação (Hellard et al., 2006; Hellard et al., 2005; Mujika et al., 1996), ciclismo (Busso, 2003; Busso et al., 2002; Busso et al., 1991; Busso et al., 1997), triatlo (Banister et al., 1999; Millet et al., 2002), halterofilismo (Busso et al., 1997; Busso et al., 1992), arremesso do martelo (Busso, Candau, & Lacour, 1994) e ginástica (Sanchez et al., 2013).

Em 1991, com base nos valores  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $\tau_1$  e  $\tau_2$ , Fitz-Clarke et al. (1991) derivaram dois novos parâmetros

$$t_g = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \left( \frac{k_2 \tau_1}{k_1 \tau_2} \right) \quad \text{e} \quad t_n = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \left( \frac{k_2}{k_1} \right) \quad (14)$$

que indicam o dia em que o treino tem maior influência no desempenho e o dia após o qual o treino deixa de influenciar essa capacidade, respetivamente.

Na prática,  $t_n$  representa o dia em que o período de *taper* deve começar. Neste estudo (Fitz-Clarke et al., 1991), e através da utilização deste modelo, os autores estabeleceram que o  $t_n$  era de  $18,5 \pm 6,5$  dias.

Em 1997, Busso e colegas (Busso, Denis, Bonnefoy, Geyssant, & Lacour, 1997) propõem a utilização do método de mínimos quadrados para a obtenção dos parâmetros do modelo de Banister. Este procedimento consiste na minimização da soma dos quadrados dos resíduos (*SSE* – Sum of Squared Errors) entre as performances estimada ( $\hat{p}$ ) e real ( $p$ ), isto é

$$SSE = \sum_{t=1}^N (\hat{p}(t) - p(t))^2 \quad (15)$$

onde  $N$  designa o número de provas realizadas.



### 2.3.2 Modificações ao Modelo de Banister

O parâmetro  $t_n$  foi, posteriormente, examinado por Busso et al. (1997), em três estudos diferentes, tendo os autores chegado à conclusão que o valor de  $t_n$  variava de acordo com a carga de treino: uma carga de treino moderada resultava num  $t_n$  mais pequeno do que aquele observado quando a carga de treino era intensa. Os autores consideraram que este facto poderia ser um indicador de uma variação dos parâmetros do modelo ao longo do período de treino e propuseram, então, um novo modelo em que os parâmetros são dinâmicos. Busso propõe então (Busso, 2003) nova formulação para o modelo de Banister

$$\hat{p}(t) = p_0 + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1} - \sum_{i=1}^{t-1} k_2(i) w(i) e^{-(t-i)/\tau_2} \quad (16)$$

em que a constante  $k_2$  no modelo de Banister é substituída por uma função  $k_2(i)$ , a variar em função do treino no instante  $i$ . Assim,  $k_2$  foi redefinida do seguinte modo

$$k_2(i) = k_3 \sum_{j=1}^i w(j) e^{-(i-j)/\tau_3} \quad (17)$$

onde  $k_3$  e  $\tau_3$  são a constante multiplicativa e a constante de decaimento, respetivamente. O modelo de Busso pode também ser obtido recursivamente (ver Apêndice A), de acordo com as expressões

$$k_2(t-1) = k_2(t-2) e^{-1/\tau_3} + k_3 w(t-1) \quad (18)$$

$$g(t) = (g(t-1) + k_1 w(t-1)) e^{-1/\tau_1} \quad (19)$$

$$h(t) = (h(t-1) + k_2(t-1) w(t-1)) e^{-1/\tau_2} \quad (20)$$

Este modelo, com parâmetros variáveis ao longo do tempo, tem sido, também, utilizado para determinar como é que os parâmetros variam com diferentes frequências de treino, quando a intensidade se mantém constante. Enquanto o  $t_n$  aumenta de forma significativa durante os períodos de maior frequência de treino, nenhum dos outros parâmetros individuais ( $\tau_1, \tau_2, k_1$  e  $k_2$ ) se altera de forma significativa (Busso, Benoit, Bonnefoy, Feasson, & Lacour, 2002).

A validação deste modelo foi feita em laboratório utilizando sujeitos não treinados submetidos a um programa de treino num ciclo-ergómetro. Este estudo permitiu concluir que o modelo assim formulado descrevia melhor as respostas ao processo de treino quando comparado com o original modelo de Banister (Busso, 2003). Este novo modelo também sugere uma relação entre as cargas de treino e a capacidade de desempenho com a forma de "U" invertido, ou seja, quando o treino excede um nível ótimo, a capacidade de desempenho pode decair devido à fadiga induzida pela sobressolicitação. Mujika et al. (2009) considera igualmente que o modelo de Busso fornece uma abordagem mais precisa às respostas ao processo de treino, em particular ao *taper* após um breve período de sobrecarga. No entanto, Thomas et al. (2008) aplicaram o modelo de Busso a oito nadadores de elite, acompanhados durante duas épocas consecutivas, e apesar dos parâmetros individuais obtidos terem permitido uma análise do programa de treino, ao estimarem a variação entre os efeitos positivos e negativos do treino, a qualidade do ajustamento do modelo foi inferior à obtida por Busso (2003), em laboratório e com sujeitos não treinados. A causa para esta discrepância pode prender-se com a maior frequência das avaliações de desempenho

que o estudo em laboratório permite, bem como com a dificuldade em quantificar todas as variáveis das cargas de treino em situação real (Hellard et al., 2006; Mujika et al., 1996; Taha & Thomas, 2003; Thomas et al., 2008).

O modelo de Banister assume que quer a fadiga, quer a adaptação respondem de forma linear às cargas de treino, mas de facto, existe uma capacidade limitada de adaptação a essas cargas. Neste sentido, Hellard et al. (2005) propuseram uma outra alteração ao modelo de Banister que refletisse esta realidade fisiológica. Com recurso à equação de Hill,

$$Hill(w) = k \frac{w^\gamma}{\delta^\gamma + w^\gamma} \quad (21)$$

que define um limite a partir do qual as cargas de treino deixam de ter impacto quer no efeito de adaptação quer no efeito de fadiga, o modelo é escrito como

$$\hat{p}(t) = p_0 + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} \frac{w(i)^\gamma}{\delta^\gamma + w(i)^\gamma} e^{-(t-i)/\tau_1} - k_2 \sum_{i=1}^{t-1} \frac{w(i)^\gamma}{\delta^\gamma + w(i)^\gamma} e^{-(t-i)/\tau_2} \quad (22)$$

em que o parâmetro  $\gamma$  expressa a sensibilidade às cargas de treino e  $\delta$  é um parâmetro de inércia. A recursividade das funções deduz-se tal como para os casos anteriores (ver Apêndice A), obtendo-se

$$g(t) = \left( g(t-1) + k_1 \frac{w(t-1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(t-1)^\gamma} \right) e^{-1/\tau_1} \quad (23)$$

$$h(t) = \left( h(t-1) + k_2 \frac{w(t-1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(t-1)^\gamma} \right) e^{-1/\tau_2} \quad (24)$$

Neste estudo, a comparação entre os dois modelos (de Banister e de Hellard) mostrou uma precisão mais elevada para o segundo, admitindo por isso, os autores, que o modelo de Hellard pode ser considerado uma

ferramenta complementar ao modelo de Banister para modelar a relação entre o treino e o desempenho. No entanto, os valores de  $r^2$  foram mais baixos do que aqueles reportados em estudos anteriores com nadadores.

Assim, os autores consideraram que o modelo de Hellard podia ser ainda refinado. Por exemplo, as alterações em  $p_0$  podem ser integradas no processo de modelação (no início de cada época), uma vez que  $p_0$  varia de ano para ano.

A principal conclusão deste estudo foi que o treino de baixa intensidade, durante o *taper*, apresentava uma forma parabólica para a performance, indicando que este tipo de treino deveria ser reduzido 40 a 50%, durante a fase de *taper*. Valores acima ou abaixo deste intervalo poderiam prejudicar a capacidade de desempenho (Hellard et al., 2005).

Uma alternativa ao modelo de Banister, foi também sugerida por Avalos et al. (2003) que propuseram um modelo linear misto para estudar os efeitos do treino na performance, em nadadores de alto nível, durante três épocas consecutivas. Assim, em vez de se construir um modelo individualizado para cada atleta, desenvolve-se antes um modelo de comportamento de grupo, permitindo que os parâmetros variem entre indivíduos de forma a ter em conta a heterogeneidade de cada um (Avalos et al., 2003). Este estudo realçou a natureza individual das adaptações a curto, médio e longo prazo, bem como a variabilidade das respostas dos atletas a determinado estímulo de treino. Estes autores consideraram ainda que as adaptações às cargas de treino não são constantes, ao longo do tempo, e portanto, uma resposta

semelhante, a cargas de treino semelhantes, não deve ser esperada de forma reiterada.

### **2.3.3 Bases Fisiológicas**

O modelo de Banister providencia uma janela relativamente às dinâmicas da adaptação às cargas de treino. Os PTEs e os NTEs correlacionam-se qualitativamente com parâmetros fisiológicos mensuráveis relacionados com a adaptação e a fadiga, respetivamente. Por exemplo, a variação de alguns biomarcadores de ferro em corredoras é acompanhada pela dos NTEs (Banister & Hamilton, 1985), assim como por alguns indicadores de degradação de células musculares (Banister & Fitz-Clarke, 1993; Banister et al., 1992). Também foram encontradas correlações entre níveis hormonais e PTEs ou NTEs (Busso et al., 1990; Busso et al., 1992). Wood et al. (2005) encontraram fortes correlações entre os PTEs e o limiar ventilatório, bem como correlações moderadas entre os NTEs e o POMS.

No geral, podemos considerar que estes estudos demonstram que os parâmetros do modelo em questão não refletem uma única variável fisiológica, mas sim uma congregação de inúmeras variáveis que contribuem para a dinâmica da resposta da performance ao processo de treino. Refletem, portanto, até certo ponto, os mecanismos fisiológicos envolvidos no processo de adaptação às cargas de treino. O modelo possibilita, ainda, analisar algumas características da dinâmica da performance como a estagnação ou decréscimo da capacidade de desempenho quando as

cargas de treino aumentam (sobressolicitação), o efeito de *plateau* quando as cargas de treino se mantêm constantes, a supercompensação após a redução dessas cargas (*taper*), depois de um período de sobrecarga, e o destreino, quando o treino cessa ou é, marcadamente, reduzido. Ao trabalhar com cargas e parâmetros individuais, o modelo é ajustado a cada atleta, refletindo assim o princípio da individualidade. Deste modo, o modelo integra, de uma forma consistente, princípios fundamentais do treino como sobrecarga, sobressolicitação, supercompensação, reversibilidade e individualidade (Clarke & Skiba, 2013).

Apesar da existência de vários estudos sobre as adaptações fisiológicas associadas ao processo de treino, raramente se tem relacionado essas adaptações com a capacidade de desempenho (Coyle, 1995).

### **2.3.4 Benefícios Conceptuais e Aplicações Práticas**

O modelo de Banister, foi utilizada por Mujika et al. (1996) com nadadores, para explicar a evolução na performance causada pelo *taper* e por Fitz-Clarke et al. (1991) para determinar a duração ótima do *taper*. Foi também a utilização de modelos matemáticos que permitiu corroborar o princípio de que uma redução progressiva das cargas de treino pode ser mais eficaz que uma redução por patamares (Banister et al., 1999; Zarcadas et al., 1995). Outra aplicação possível deste tipo de modelos prende-se com a possibilidade de simular diferentes variações no processo de treino e estudar o impacto dessas variações na capacidade de desempenho (Fitz-Clarke et

al., 1991; Morton, 1991; Morton, Fitz-Clarke, & Banister, 1990; Thomas & Busso, 2005).

Estes modelos de desempenho podem ainda ser usados de forma a realçar algumas lacunas em estudos sobre controlo de treino. Por exemplo: quantificar a carga de treino de um grupo de atletas e usar estes dados para ajustar o modelo pode ser útil para estimar os níveis de fadiga e de treino ao longo do estudo; mas em casos em que as cargas de treino não sejam controladas de forma rigorosa, ao longo do estudo, os modelos podem ser usados de forma a ter em conta a variância entre sujeitos, resultante das diferentes cargas de treino, que, talvez de outra forma, poderia distorcer o efeito do desenho experimental (Clarke & Skiba, 2013). A utilização de modelos matemáticos oferece vários benefícios conceptuais. Em primeiro lugar consegue-se, de uma forma elegante, congregar vários princípios do treino numa estrutura una e coerente; em segundo lugar, podem ser utilizados para otimizar a capacidade de desempenho de atletas através de simulações e de curvas de influência (Clarke & Skiba, 2013). Curvas de influência são representações do impacto do impulso de treino, de cada sessão, até ao dia da competição principal (Fitz-Clarke et al., 1991) e são, simplesmente, uma função dos parâmetros do modelo, independentes das cargas de treino diárias. Desta curva derivam dois parâmetros ( $t_g$  e  $t_n$ ) que representam o dia em que o treino tem maior influencia no desempenho e o dia após o qual o treino deixa de influenciar essa capacidade (Fitz-Clarke et al., 1991). Algumas linhas gerais conducentes à otimização do treino podem ser extraídas da análise das curvas de influência. Em primeiro lugar, as cargas de treino devem ser concentradas perto da altura de maior impacto

na performance, isto é, perto de  $t_g$ , enquanto o *taper* deve situar-se nas redondezas de  $t_n$  (Skiba, 2008). Em segundo lugar a curva de influência sugere que o treino antes da competição principal tem pouco impacto na capacidade de desempenho, o que, consequentemente, implica que os blocos de carga só necessitam durar entre poucas semanas e 3-4 meses, estando estes valores de acordo com a literatura que suporta a periodização por blocos como o modelo de periodização ideal (Issurin, 2010). Por fim, as curvas de influência podem orientar a gestão das cargas de treino quando se tem por objetivo competir em diversos eventos e em dias diferentes (Fitz-Clarke et al., 1991). Diferentes cargas de treino podem ser propostas aos modelos, juntamente com os parâmetros pré-determinados individualmente, permitindo aos treinadores escolher o programa de treino que apresenta melhores resultados de desempenho no dia determinado.

Os efeitos do *taper* podem também ser descritos, através da modelação, pela diferente resposta dos processos de fadiga e adaptação induzidos pelas cargas de treino, ao longo do tempo. Banister et al. (1975) recolheram dados sobre as cargas de treino e o desempenho para estabelecer uma relação dose-resposta, baseada nos efeitos positivos e negativos do treino. Neste estudo, a resposta do modelo assenta no equilíbrio entre estes dois efeitos antagonistas do processo de treino, atribuídos à adaptação e à fadiga, respetivamente. Morton et al. (1990) num estudo controlado, em que as cargas de treino foram consideravelmente reduzidas após 28 dias de treino muito intenso, mostraram que cargas de treino repetidas poderiam provocar uma acumulação de fadiga que se sobrepõe às adaptações. Se os valores da fadiga são mais elevados que os da adaptação ocorre um decréscimo



temporário na capacidade de desempenho. Uma redução subsequente nas cargas de treino provocou uma dissipação mais rápida da fadiga do que da adaptação, permitindo uma acentuada melhoria da capacidade de desempenho.

As respostas ao treino foram também modeladas por Mujika et al. (1996). Neste estudo, os autores utilizaram modelos matemáticos para estudar as variações na capacidade de desempenho durante o período de *taper* em nadadores de elite. Os PTEs aumentaram rapidamente, desde o início do período estudado até atingirem um patamar, enquanto os NTEs aumentaram durante os períodos de treino intenso, mas decaíam durante o *taper*. A redução das cargas de treino, durante esta fase, provocou um maior decréscimo nos efeitos negativos do que nos positivos. Os autores consideram que uma redução progressiva das cargas de treino, ao longo de três ou quatro semanas, permitiria reduzir o impacto da fadiga sem comprometer as adaptações dos atletas. A evolução da performance observada, após o *taper*, foi atribuída, principalmente, à redução da fadiga, apesar de também terem sido observados pequenos ganhos na capacidade de adaptação.

Esta dinâmica dos efeitos do *taper* pode ser aplicada a vários outros desportos, uma vez que a utilização deste modelo foi estudada em diversas investigações como corrida de longa duração (Banister & Hamilton, 1985), triatlo (Banister et al., 1999), halterofilismo (Busso, Carasso, & Lacour, 1991; Busso et al., 1992) e arremesso do martelo (Busso et al., 1994). Banister et al. (1999), por outro lado, usaram o modelo para sugerir a estrutura de *taper* mais favorável, tendo confirmado os resultados em situação real. Estes

trabalhos mostraram que a estrutura do modelo permitia uma descrição aceitável das respostas ao processo de treino em diferentes desportos (Mujika, 2009).

Este tipo de utilização de modelos matemáticos pode acrescentar mais-valias a futuros estudos sobre *taper*, uma vez que permite testar diferentes cenários de treino antes de serem postos em prática (Taha & Thomas, 2003), bem como evitar situações de sobretreino, uma vez que o facto de os parâmetros que descrevem a resposta ao treino serem específicos de cada atleta, permite a construção de um programa de treino que optimize a performance sem entrar em sobretreino (Morton, 1997).

Apesar da sua utilização, até à data, estar maioritariamente restringida a estudos laboratoriais, tem-se vindo a observar um crescente interesse devido às possibilidades comerciais relacionadas com o desenvolvimento de software de controlo de treino em tempo real (Clarke & Skiba, 2013).

### **2.3.5 Limitações**

A utilização deste tipo de modelos apresenta diversos desafios operacionais e limitações científicas enquanto ferramenta de otimização do processo de treino (Hellard et al., 2005; Mujika, 2009; Taha & Thomas, 2003). O facto de requerer a recolha de todas as cargas de treino e de várias medidas de desempenho durante os períodos estudados implica grande diligência quer por parte dos atletas, quer por parte dos treinadores (Clarke & Skiba, 2013).

No estudo de Calvert et al. (1976) o modelo de Banister, apesar das performances previstas acompanharem, de uma forma geral, as performances reais, apresentava grandes discrepâncias em alguns pontos específicos da época. No entanto, os autores consideraram que estas diferenças não se deviam ao modelo em si, mas sim a fatores externos na vida pessoal do atleta.

O modelo de Banister tem sido também criticado pela sua aparente falta de capacidade preditiva (Hellard et al., 2006; Taha & Thomas, 2003), o que levanta dúvidas sobre a sua utilidade enquanto ferramenta na otimização do processo de treino (Busso & Thomas, 2006), e pelo facto do modelo assumir que a resposta a uma determinada carga de treino é independente do impacto das cargas de treino passadas. Isto também implica que a duração do *taper* deve ser sempre a mesma, independentemente da intensidade do treino que o precedeu. Estas assunções estão em contradição com alguns conceitos sobre destreino (Mujika & Padilla, 2003) e *taper* (Mujika & Padilla, 2003; Mujika et al., 2004). As principais críticas derivam de avaliações estatísticas que revelam grandes intervalos de confiança para os parâmetros estimados e para os valores de  $t_n$  e  $t_g$ . Alguns autores consideram, portanto, que este tipo de modelos com parâmetros invariáveis ao longo do tempo parece fornecer uma descrição imperfeita da relação entre o processo de treino e a capacidade de desempenho (Busso et al., 2002; Busso et al., 1997; Thomas & Busso, 2005). Hellard et al. (2006) concluíram que, apesar da variabilidade dos parâmetros, a variabilidade correspondente nos desempenhos modelados era bastante reduzida e os parâmetros mantinham-se constantes.

No entanto, nos estudos em que a capacidade preditiva do modelo foi, realmente, testada os resultados foram bastante positivos (Clarke & Skiba, 2013). Assim, estes autores consideram o modelo de grande aplicação prática, tendo sido utilizado no desenho de programas de treino de vários atletas de elite mundial, incluindo um recordista do mundo. Os autores reconhecem, contudo, que ainda não está claro se a utilidade do modelo se deve à sua capacidade de prever, de uma forma precisa, a dinâmica dos PTEs, NTEs e performances, ou se modela, de uma forma geral, a dinâmica da fadiga, adaptação e performance. Por outras palavras, os autores questionam se, independentemente dos parâmetros do modelo, as conclusões não poderiam ser as mesmas, em função do processo de treino. Assim, são, necessários mais estudos de forma a avaliar a utilidade do modelo de Banister e suas variantes.

## **3 Metodologia**

### **3.1 Participantes**

Os participantes deste estudo são nadadores portugueses de nível nacional e internacional em Natação Pura (cinco do género masculino e seis do género feminino). Os atletas pertencem ao escalão de Juniores e Seniores, com pelo menos 6 anos de experiência de treino e todos com marcas que lhes permitem participar em finais A de Campeonatos Nacionais de Absolutos. Alguns têm experiência internacional, incluindo participações em Campeonatos da Europa e do Mundo, quer em piscina curta, quer em piscina olímpica. Neste grupo incluem-se recordistas nacionais de grupos de idade e absolutos, e um dos elementos conta com uma participação olímpica através da Seleção Nacional de Angola.

Todos os participantes foram informados dos objetivos do estudo, tendo assinado uma declaração de consentimento. No caso de participantes menores de idade, a responsabilidade de autorização de participação foi assumida pelo respetivo encarregado de educação.

O critério para a manutenção dos participantes no estudo foi determinado pela participação regular no programa de treino. A ausência em pelo menos um microciclo completo ou em mais do que 10% do total das sessões de

treino implicou o abandono automático do projeto, tendo-se verificado esta situação com dois atletas.

Cada nadador treinou de acordo com o plano de treino estabelecido pelos seus treinadores, sem qualquer interferência provocada pela participação neste estudo.

Os atletas foram acompanhados durante duas épocas desportivas, consecutivas (2011-2012 e 2012-2013), tendo sido quantificada a sua carga treino e o seu desempenho competitivo.

Na Tabela 7 e na Tabela 8 são descritas algumas das características dos participantes do estudo, como o volume de quilómetros nadados por época, as provas principais atribuídas a cada sujeito e o número de medições de desempenho por época.

*Tabela 7: Características dos atletas do género masculino durante as duas épocas de estudo.*

Atleta	Idade (anos)	Provas principais	Volume de treino	Nº de Competições	
				2011-2012	2012-2013
1	19,7	50 C 100 C 400 E	3530,3	11	9
2	18,5	50 L 100 L 200 L	3548,9	8	8
3	20,4	100 L 200 L 400 L	3611,2	8	8
4	21,4	200 L 400 L 1500 L	4208,4	8	5
5	22,1	200 E 400 E	3701,0	6	7

C - Técnica de Costas; B - Técnica de Bruços; M - Técnica de Mariposa; L - Técnica de Crol;  
E - Técnica de Estilos

Tabela 8: Características dos atletas do género feminino durante as duas épocas de estudo.

Atleta	Idade (anos)	Provas principais	Volume de treino	Nº de Competições	
				2011-2012	2011-2012
6	20,2	50 B 100 B 200 B 50 M	3604,2	8	7
7	14,5	100 M 200 M 100 B	3499,1	8	9
8	17,6	100 M 200 E 50 C	3480,2	9	7
9	14,3	100 C 100 M 200 L	3280,1	14	8
10	17,9	400 L 800 L 100 L	3877,6	9	7
11	17,4	200 L 400 L	3604,2	10	8

C - Técnica de Costas; B - Técnica de Bruços; M - Técnica de Mariposa; L - Técnica de Crol;  
E - Técnica de Estilos

O estudo teve início no princípio da época desportiva, a seguir a um período de destreino, definido por Mujika (2003) como uma perda parcial ou completa das adaptações fisiológicas, anatómicas e na capacidade de desempenho, induzidas pelo treino, como consequência de uma redução ou cessação do processo de treino. Cada época competitiva foi dividida em três macrociclos distintos. Considera-se um macrociclo uma macroestrutura do processo de treino, constituída por outras sub-estruturas, onde se concretiza um efeito específico ou uma adaptação do treino de modo a realizar um desempenho competitivo de relevo. Cada macrociclo tem uma duração habitual de 12 a 20 semanas e culmina com uma competição importante (Maglischo, 2003).

A caracterização antropométrica dos participantes, em função do género, é apresentada na Tabela 9. De destacar o fato das nadadoras terem uma

média de idades de 17 anos, inferior em 3 anos aos indivíduos do género masculino.

*Tabela 9: Características antropométricas dos participantes, em função do género.*

Variáveis	Género	Média $\pm$ Dp	Mínimo	Máximo
Idade (anos)	Mas	20,4 $\pm$ 1,3	18,5	22,1
	Fem	17,0 $\pm$ 2,2	14,3	20,2
Estatura (cm)	Mas	183,8 $\pm$ 4,1	176,6	189,2
	Fem	166,4 $\pm$ 8,0	154,3	178,5
Envergadura (cm)	Mas	188,8 $\pm$ 4,9	180,1	195,0
	Fem	171,8 $\pm$ 7,4	160,1	182,1
Massa Corporal (kg)	Mas	70,7 $\pm$ 5,1	65,3	78,1
	Fem	58,2 $\pm$ 6,9	50,8	71,0
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Mas	21,0 $\pm$ 1,0	19,5	22,2
	Fem	20,8 $\pm$ 1,5	19,1	22,4

Dp – Desvio padrão, IMC – Índice de Massa Corporal

## 3.2 Monitorização das Cargas de Treino

O controlo das cargas de treino é fundamental para avaliar as respostas dos atletas e determinar a relação dose-resposta entre o processo de treino e o desempenho em competição.

Neste trabalho, a quantificação das cargas de treino foi feita de acordo com uma adaptação do método proposto por Mujika et al. (1995), tendo o volume de metros nadados numa determinada zona de intensidade sido multiplicado por um coeficiente de ponderação, relacionado com os valores de lactatemia e frequência cardíaca, associados a determinada velocidade de nado. Assim, são definidas sete zonas de intensidade (I a VII), correspondendo a cada uma delas um determinado objetivo (ver Tabela 10). O volume



realizado em cada zona de intensidade é ponderado pelos coeficientes 1, 2, 3, 4, 6, 8 e 10 (ver Tabela 10).

*Tabela 10: Definição dos coeficientes de ponderação (Adaptado de Mujika et al. 1995, Maglischo, 2003).*

Nível de intensidade	Objetivo	Velocidade (% de v15)	Lac. mmol.l <sup>-1</sup>	Coef. de ponderação
I	Aquecimento e recuperação	até 60%	----	1
II	Capacidade aeróbia	60-70%	2 - 3	2
III	EEML	≈ 80%	3 - 4	3
IV	Potência aeróbia (VO <sub>2max</sub> )	≈ 85%	6 - 9	4
V	Tolerância Láctica	≈ 90%	> 8	6
VI	Potência Láctica	≈ 95%	> 8	8
VII	Velocidade	máximo	----	10

v15 – velocidade máxima obtida em teste de 15 metros

O treino fora de água também foi quantificado segundo uma adaptação ao método proposto por Mujika et al. (1995). De forma a conseguir quantificar estas cargas de treino nas mesmas unidades que as cargas de treino em água, os autores estimaram intensidades equivalentes para os diferentes tipos de treino em seco, considerando que 1 hora de treino físico fora de água, é equivalente a 2 Km a nadar com a seguinte correspondência: 1 Km no nível de intensidade II, 0,5 Km no nível VI e 0,5 Km no nível VII. Assim, a preparação física (*PF*) fora de água tem coeficiente de ponderação

$$c_{PF} = 1 \times 2 + 0,5 \times 8 + 0,5 \times 10 = 11 \quad (25)$$

De acordo com esta abordagem, podemos calcular o impacto das cargas de treino através da soma do volume de quilómetros nadados em cada zona de intensidade, multiplicados pelo respetivo coeficiente de ponderação, mais o equivalente respetivo à preparação física fora de água. (Mujika et al., 1996):

$$W = \sum_{i=1}^7 c_i \times \text{volume de quilómetros em n.i.}(i) + 11 \times n^0 \text{ de horas}(PF) \quad (26)$$

onde  $c_1 = 1, c_2 = 2, c_3 = 3, c_4 = 4, c_5 = 6, c_6 = 8, c_7 = 10$ ,  $W$  indica o total de estímulos de treino, num dado período, medidos em Unidades Arbitrárias da Carga (UAC),  $PF$  a preparação física fora de água e n.i. o nível de intensidade.

Este método tem sido utilizado, com algumas variações, por diversos autores, em estudos sobre a modelação e o impacto das cargas de treino (Avalos, Hellard, & Chatard, 2003; Hellard et al., 2006; Hellard et al., 2005; Mujika et al., 1996; Thomas et al., 2008).

### **3.3 Monitorização do Desempenho**

Para cada atleta, e após consulta aos treinadores, foram seleccionadas entre uma a três provas consideradas principais, de forma a garantir o mesmo nível de empenho em todas as competições analisadas. Os atletas foram controlados em situação real de competição, quer a nível nacional, quer internacional. O nível de desempenho foi expresso como uma percentagem do recorde pessoal de cada atleta, relativo à época anterior (Mujika et al., 1996).

## 3.4 Modelos

### 3.4.1 Estimação

A capacidade de desempenho de um atleta é, como se viu na revisão da literatura, definida em função das cargas de treino a que o atleta é sujeito. A primeira proposta deve-se a Banister e seus colegas (1975), tendo surgido posteriormente duas adaptações a este modelo ((Busso, 2003) e (Hellard et al., 2005)). No sentido de fazer um estudo comparativo entre os três modelos, foram desenvolvidas rotinas em MatLab (ver Apêndice B) que permitem efetuar o ajustamento de tais modelos.

Na Figura 1 apresenta-se o desempenho de um atleta ao longo das duas épocas consideradas neste estudo. Ao analisar a figura fica claro que o início da 2ª época provoca uma alteração considerável nos resultados do atleta. Na primeira prova da 2ª época, o atleta realizou uma performance bastante inferior às da época anterior (o que é natural depois de um período de destreino (Mujika, 2003)), mas neste caso, também o rendimento ao longo da 2ª época baixa relativamente à época 2011-2012.

Neste contexto, parece pertinente considerar intervenções nos modelos aqui tratados. Na Figura 2 apresenta-se os cenários possíveis. Assim, considera-se que ocorre uma intervenção no instante (neste caso, na semana) em que se inicia a 2ª época e ao longo da época pode acontecer que o nível do atleta volte ao nível que apresentava na época anterior (Figura 2 A), ou então suba ou desça esse nível (Figura 2 B).

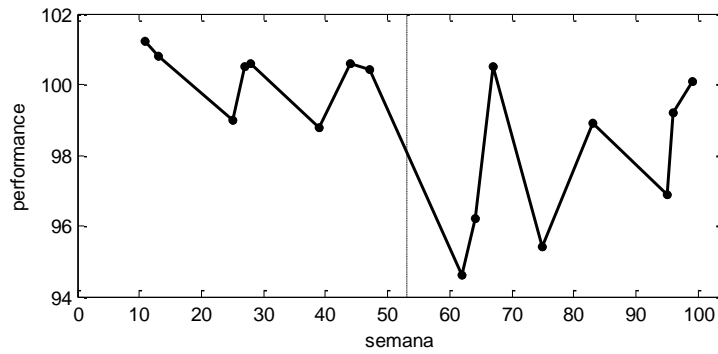


Figura 1: Desempenho do atleta nº 2 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013 (a linha vertical representa o início da 2ª época).

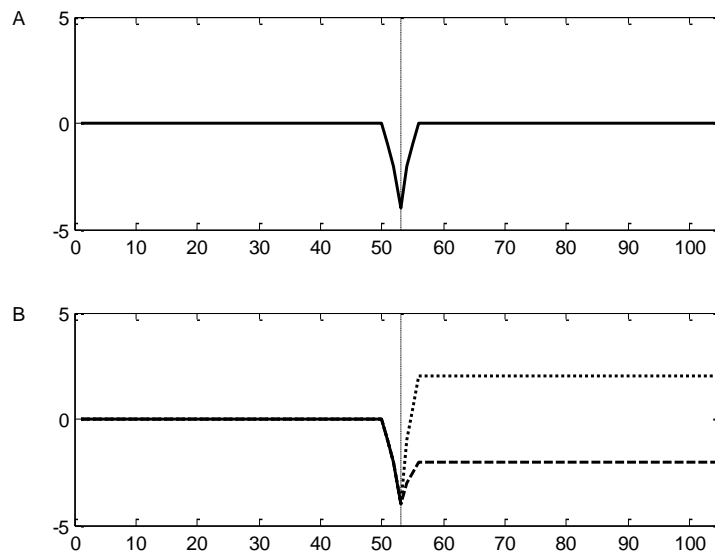


Figura 2: Exemplo de intervenção (A) instantânea, (B) de mudança de nível.

Para introduzir uma intervenção considera-se uma variável binária definida do seguinte modo

$$X_t = \begin{cases} 0 & \text{se } t < i \\ 1 & \text{se } t \geq i \end{cases} \quad (27)$$

em que  $t$  representa o tempo e  $i$  o instante da intervenção (neste caso, a semana em que se inicia a 2ª época). Deste modo, na modelação da capacidade de desempenho pode surgir uma intervenção, sendo o respetivo efeito medido por

$$(\varpi + \theta B) X_t \quad (28)$$

com  $\varpi$  e  $\theta$  parâmetros a estimar e  $B$  o operador *backshift* (isto é,  $B^d X_t = X_{t-d}$ ,  $d \geq 1$ ). Assim, antes da intervenção, o efeito é nulo pois

$$(\varpi + \theta B) X_t = \varpi X_t + \theta X_{t-1} = 0, \quad t < i \quad (29)$$

No instante da intervenção, o efeito é

$$(\varpi + \theta B) X_i = \varpi X_i + \theta X_{i-1} = \varpi \quad (30)$$

Após a intervenção, o efeito será

$$(\varpi + \theta B) X_t = \varpi X_t + \theta X_{t-1} = \varpi + \theta, \quad t > i \quad (31)$$

Assim, se  $\varpi \neq 0$  significa que quando a nova época se inicia, o desempenho do atleta se altera relativamente à época anterior (neste contexto, espera-se que  $\varpi < 0$ ). Se  $\theta = -\varpi$ , após o início da época o nível do atleta volta aos valores da época anterior (Figura 2 A). Se, pelo contrário,  $\theta \neq -\varpi$ , o nível de desempenho ao longo da nova época altera-se (Figura 2 B), podendo ser melhor (se  $\theta > -\varpi$ ) ou pior (se  $\theta < -\varpi$ ). Para mais detalhes sobre modelos de intervenção, ver por exemplo Pankratz (1991).

Estes efeitos de intervenção podem ser incluídos em qualquer dos três modelos já referidos (de Banister, de Busso e de Hellard), contudo neste trabalho apenas foram considerados no modelo de Banister. A razão para esta opção prende-se com o elevado número de parâmetros a estimar. No modelo de Banister há cinco parâmetros, ao incluir as intervenções aumenta-se em dois esse número, passando a sete parâmetros. Tendo em conta o reduzido número de provas realizado ao longo de duas épocas, estimar sete parâmetros pode ser excessivo. Quanto maior o número de parâmetros do modelo (seis no de Busso e sete no de Hellard, incluindo a

intervenção passaria a oito e nove, respetivamente), menos parcimonioso se torna o respetivo modelo.

O modelo de Banister com intervenções que aqui se propõe é então dado pela equação

$$\hat{p}(t) = p_0 + (\varpi + \theta B) X_t + k_1 \sum_{j=1}^{t-1} w_j e^{-(t-j)/\tau_1} - k_2 \sum_{j=1}^{t-1} w_j e^{-(t-j)/\tau_2} \quad (32)$$

em que  $\hat{p}(t)$  representa o desempenho estimado na semana  $t$ ,  $X_t$  é o valor da variável binária na semana  $t$ ,  $w_j$  representa a carga de treino na semana  $j$ , e  $p_0$ ,  $\varpi$ ,  $\theta$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $\tau_1$  e  $\tau_2$  são os sete parâmetros a estimar. À semelhança dos três modelos de função de transferência referidos na literatura, também este modelo foi incluído na rotina ‘estimar’ desenvolvida em MatLab (ver Apêndice B).

Para aferir da qualidade do ajustamento é usual considerar o coeficiente de determinação,  $r^2$ , dado por

$$r^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum (\hat{p}(t) - p(t))^2}{\sum (p(t) - \bar{p})^2} \quad (33)$$

em que  $p(t)$  representa a performance real na semana  $t$  e  $\hat{p}(t)$  a performance estimada na mesma semana. Esta medida corresponde à proporção da variabilidade do desempenho que é explicada pelo modelo. Na análise de séries temporais, um critério bastante usado para efetuar a seleção de modelos é a minimização de *AIC* (Akaike information criterion), que tem como definição

$$AIC = -2\log L + 2m \quad (34)$$

em que  $L$  designa a verosimilhança e  $m$  o número de parâmetros no modelo. De acordo com a literatura (Makridakis, Wheelwright, & Hyndan,

1998), uma aproximação desta medida (evitando o cálculo da verosimilhança), consiste em

$$AIC \approx n(1 + \log(2\pi)) + n \log \hat{\sigma}^2 + 2m \quad (35)$$

onde  $n$  representa o número de observações da série e  $\hat{\sigma}^2$  a variância dos resíduos

$$\hat{\sigma}^2 = MSE = \frac{SSE}{n-m} = \frac{\sum (\hat{p}(t) - p(t))^2}{n-m} \quad (36)$$

Ambas as estatísticas  $r^2$  e  $AIC$  foram implementadas na rotina 'estimar' desenvolvida em MatLab. Por fim, nessa rotina, são ainda obtidas as estimativas dos dias  $t_n$  (dia após o qual o treino deixa de influenciar, positivamente, a performance) e  $t_g$  (dia em que o treino tem maior influência positiva no desempenho) (ver Apêndice B).

### 3.4.2 Diagnóstico

Os modelos de função de transferência que ajustam o desempenho de um atleta, em função das respectivas cargas de treino, têm sido alvo de algumas críticas, uma vez que se considera que embora o ajustamento seja razoável, o mesmo não acontece com a capacidade preditiva. Nesse sentido, e tendo em conta que se dispõe da informação relativa a duas épocas, vai usar-se a 1ª época (2011-2012) para efetuar a estimação de parâmetros e a 2ª época (2012-2013) para fazer a avaliação do modelo ajustado. Assim, utiliza-se o modelo ajustado na 1ª época para obter valores preditos relativos à 2ª

época. Em seguida, compara-se os valores obtidos por previsão com as verdadeiras performances obtidas durante a 2ª época.

A avaliação vai ser feita usando como critérios a variância dos resíduos ( $\hat{\sigma}^2$ ) e a estatística  $U$  de Theil, definida como

$$U = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{f(t) - p(t)}{p(t-1)} \right)^2}{\sum \left( \frac{p(t) - p(t-1)}{p(t-1)} \right)^2}} \quad (37)$$

em que  $f(t)$  representa o valor predito para o desempenho no instante  $t$  e  $p(t)$  a verdadeira performance no mesmo instante. Esta estatística tem como objetivo comparar a eficiência do modelo ajustado face a um método que consiste em considerar como previsão para qualquer instante a observação mais recente que esteja disponível (este método é usualmente designado por *naïve*). Assim, a interpretação da estatística  $U$  de Theil é feita do seguinte modo:

$U = 1$ : indica que ambos os métodos são idênticos;

$U > 1$ : indica que o método *naïve* obtém melhor ajustamento;

$U < 1$ : indica que o modelo considerado é superior ao método *naïve* (e é tanto melhor quanto menor for o valor de  $U$ ).

Para efetuar o diagnóstico, foi implementada em MatLab a rotina 'avaliar' (ver Apêndice B). De notar que o diagnóstico não pode ainda ser feito para o modelo de Banister com intervenções, uma vez que para ajustar tal modelo é necessário haver pelo menos duas épocas e, neste caso, das duas épocas disponíveis apenas a época de 2011-2012 está a ser usada para a estimação.





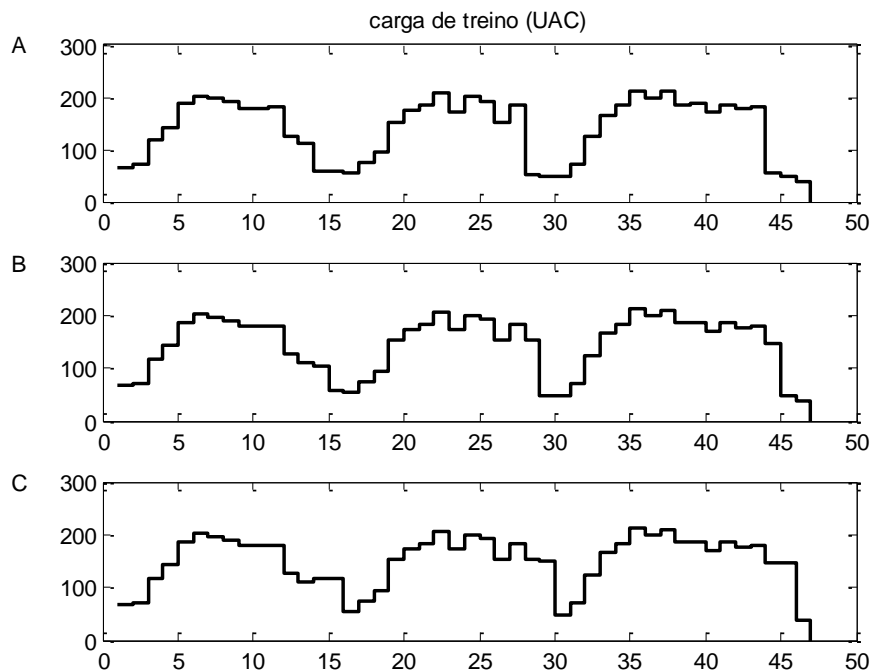


Figura 3: Distribuição das cargas de treino nas três simulações experimentadas.

Posteriormente, utilizando o modelo que melhor descreve a trajetória do atleta, e os respetivos parâmetros individuais estimados em função da época anterior, obtém-se os desempenhos previstos para as diferentes competições, de acordo com cada um dos programas de treino. O programa que fornecer melhores desempenhos é o que deve ser escolhido para o atleta realizar durante a próxima época.

Para efetuar a simulação, foi desenvolvida uma rotina em MatLab, designada 'simular' (ver Apêndice B).

## **4 Apresentação e Discussão de Resultados**

### **4.1 Dinâmica das Cargas de Treino**

As duas épocas desportivas consideradas, neste trabalho, foram idênticas em duração. Ambas foram constituídas por 46 semanas e a própria duração relativa de cada macrociclo é muito semelhante de época para época (ver Tabela 12 e Tabela 13).

Observa-se um aumento gradual do volume total de metros nadados entre o 1º e o 3º macrociclo de cada época (27% na época 2011-2012 e 35,6% na época 2012-2013) e entre as duas épocas desportivas (18,3%). De uma forma geral, também se constata um aumento gradual do volume de metros dentro de cada zona de intensidade, por macrociclos e por épocas. Esta distribuição das cargas reflete-se, obviamente, nas UACs que também vão evoluindo entre macrociclos (31,6% na época 2011-2012 e 20,0% na época 2012-2013), e entre uma e outra época (8,0%).

O volume de metros nadados em zonas de intensidade predominantemente aeróbias (I, II e III) é claramente superior, sendo a zona II a que apresenta um maior volume nas duas épocas estudadas.

É de realçar o facto do treino de velocidade (zona VII) associado, normalmente, a tarefas de volume reduzido, apresentar volumes globais superiores à zona VI e idênticos à zona V.

*Tabela 12: Análise descritiva (Média±Dp) da distribuição do volume de treino, por zona de intensidade, em cada macrociclo, ao longo da época 2011-2012.*

Zona de intensidade	1º Macrociclo (12 sem)	2º Macrociclo (16 sem)	3º Macrociclo (16 sem)	Total
I	104,1±8,6	116,4±9,5	131,9±24,1	<b>352,4±29,1</b>
II	166,0±13,7	189,4±12,5	188,4±14,6	<b>543,8±37,3</b>
III	148,9±15,7	181,7±29,5	171,2±18,8	<b>501,8±57,2</b>
IV	36,5±6	65,4±10,0	89,6±12,3	<b>191,4±19,6</b>
V	8,4±1,4	15,7±3,0	13,2±0,7	<b>37,4±5,4</b>
VI	3,1±0,2	3,8±0,7	4,4±0,7	<b>11,3±1,0</b>
VII	10,7±0,9	10,1±0,4	10,2±0,5	<b>30,9±1,4</b>
Volume Total	477,7±38,3	582,4±52,0	608,9±53,9	<b>1669,0±125,8</b>
UAC Total	1779,9±79,2	2246,9±124,6	2343,1±135,2	<b>6370,1±290,6</b>

UAC – Unidades Arbitrárias da Carga; Dp – desvio padrão

*Tabela 13: Análise descritiva (Média±Dp) da distribuição do volume de treino, por zona de intensidade, em cada Macrociclo, ao longo da época 2012-2013.*

Zona de intensidade	1º Macrociclo (16 sem)	2º Macrociclo (14 sem)	3º Macrociclo (16 sem)	Total
I	159,0±15,1	194,7±5,5	215,2±8,0	<b>568,9±24,8</b>
II	200,6±16,6	249,2±12,1	288,5±25,4	<b>738,2±59,4</b>
III	120,5±22,2	127,7±21,1	168,0±13,1	<b>416,2±45,9</b>
IV	61,2±8,8	40,8±5,1	65,6±2,5	<b>167,7±14,9</b>
V	10,6±2,8	12,7±1,6	10,8±1,3	<b>34,1±4,1</b>
VI	4,0±0,6	4,5±0,2	5,9±0,3	<b>14,4±0,6</b>
VII	10,5±0,3	9,6±0,9	14,1±1,3	<b>34,1±2,0</b>
Volume Total	566,4±50,9	639,2±41,1	768,1±48,3	<b>1973,6±133,9</b>
UAC Total	2154,7±132,5	2141,1±99,7	2585,9±11,7	<b>6881,7±321,2</b>

UAC – Unidades Arbitrárias da Carga; Dp – desvio padrão

## 4.2 Modelos

### 4.2.1 Estimação

A estimação de parâmetros em qualquer dos modelos considerados, neste trabalho, é feita utilizando o método de mínimos quadrados, que é iterativo e não linear. Para executar este tipo de métodos é necessário escolher estimativas iniciais para os parâmetros. No entanto, salvo algumas exceções, os investigadores não reportam nos seus trabalhos, os valores utilizados para essas inicializações. Hellard e colaboradores são uma das exceções, ao referir que escolheram como valores iniciais  $p_0 = 0,95$ ,  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 2$ ,  $\tau_1 = 45$  dias e  $\tau_2 = 15$  dias, quer para o método de Banister quer para o método modificado (que, nesta tese, está a ser designado por método de Hellard); no entanto, nada referem para os parâmetros  $\gamma$  e  $\delta$  (Hellard et al., 2005). Num outro estudo (Hellard et al., 2006), indicam tomar como valores iniciais para a pesquisa, os valores obtidos por Mujika e colaboradores (1996).

Dada a pouca informação disponível quanto a inicializações de parâmetros, apresenta-se na Tabela 14 um sumário dos valores finais obtidos, em alguns estudos reportados na literatura, para os diferentes parâmetros. De referir que, nestes estudos, há grande variabilidade de condições experimentais. Há estudos no âmbito da natação e outros não. Há estudos no terreno, no entanto a maioria realiza-se em laboratório. Há estudos que incluem atletas

de elite e outros sujeitos não treinados. De qualquer modo, tendo em conta os valores reportados parece adequado considerar como estimativas iniciais para o modelo de Banister  $p_0 = 93$ ,  $k_1 = 0,05$ ,  $k_2 = 0,05$ ,  $\tau_1 = 45$  dias e  $\tau_2 = 15$  dias.

*Tabela 14: Estimativas reportadas na literatura para os parâmetros dos modelos de Banister, de Busso e de Hellard.*

Estudo (ano)	Participantes género (idade (anos))	$p_0$	$k_1$	$k_2$	$\tau_1$	$\tau_2$	$k_3$	$\tau_3$	$\gamma$	$\delta$
Morton (1990)	2 mas (42 e 57)		1	1,9	45	11				
Busso (1991)	8 mas (19 – 22)	104,8	0,048	-0,117	38	1,9				
Mujika (1996)	10 mas, 8 fem (20.3±2.8)	93	0,062	0,128	41,4	12,4				
Busso (1997)	2 suj (29 e 36)		0,002	0,008	60	5				
Busso (2003)	6 suj (32.7±5.0)		0,019	0,015	40,8	9				
			0,031		30,8	16,8	0,000035	2,3		
Hellard (2005)	3 mas, 4 fem (19.3±2.3)	94	0,01	0,05	49,6	19,1				
		94,2	0,34	0,42	43,7	17,7			2,36	3,24
Hellard (2006)	4 mas, 5 fem (23.2±2.8)	0,94	0,036	0,050	38,0	19,0				
Thomas (2008)	4 mas, 4 fem (19.8±2.5)		0,0315		45,6	11,3	0,004	3,8		

suj – sujeito (para os casos em que não é referido o género dos participantes)

Ao utilizar estas estimativas obteve-se, para um dos atletas,  $p_0 = 112,4$ ,  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 1$ ,  $\tau_1 = 1,8$  dias e  $\tau_2 = 1,9$  dias. No entanto, tal solução não será admissível, dado o nível inicial ser 112,4 (o que não parece razoável) e os parâmetros  $\tau_1$  e  $\tau_2$  apresentarem valores tão baixos. Isto ilustra que, para além da inicialização dos parâmetros, outro problema se coloca ao usar métodos de pesquisa não linear, que é o das restrições aos parâmetros. Os parâmetros não podem variar livremente no conjunto dos números reais, pois o risco de soluções inadequadas é muito elevado. Desde logo, há uma restrição óbvia, os parâmetros não devem ser negativos. No entanto, esta restrição não é suficiente, mas mais uma vez, a pesquisa na literatura não dá grande ajuda. Ainda assim, Fitz-Clarke e colaboradores avaliaram

alterações de 10% nos parâmetros  $\tau_1 = 45$ ,  $\tau_2 = 15$ ,  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 2$  (Fitz-Clarke et al., 1991). Busso e colaboradores referiram limitar o parâmetro  $\tau_1$  no intervalo 30-60 dias e o parâmetro  $\tau_2$  entre 1 e 20 dias (Busso et al., 1997). Hellard e colaboradores reportaram intervalos a 95% de confiança para cada um dos parâmetros, obtidos por *bootstrap* (Hellard et al., 2006). No sentido de avaliar o impacto das inicializações e restrições aos parâmetros, foi feito um estudo onde foram combinadas, para o modelo de Banister, as inicializações e restrições apresentadas na Tabela 15. Verificou-se que, em geral, as inicializações não tinham grande impacto na solução final, mas as restrições sim. Qualquer das três inicializações apresentada na Tabela 15 conduz, em geral, à mesma solução final desde que as restrições sejam  $90 \leq p_0 \leq 100$ ,  $k_1, k_2 \geq 0$ ,  $30 \leq \tau_1 \leq 60$  e  $1 \leq \tau_2 \leq 20$ .

*Tabela 15: Inicializações e restrições consideradas, para o modelo de Banister, em estudo de simulação.*

Inicializações
$p_0 = 93; k_1 = 0,05; k_2 = 0,05; \tau_1 = 45; \tau_2 = 15$
$p_0 = 93; k_1 = k_2 = \tau_1 = \tau_2 = 1$
$p_0 = k_1 = k_2 = \tau_1 = \tau_2 = 1$
Restrições
$90 \leq p_0 \leq 100; 0 \leq k_1, k_2 \leq 1; 30 \leq \tau_1 \leq 60; 1 \leq \tau_2 \leq 20$
$90 \leq p_0 \leq 100; k_1, k_2, \tau_1, \tau_2 \geq 0$
$p_0, k_1, k_2, \tau_1, \tau_2 \geq 0$

As opções tomadas para o modelo de Busso são indicadas na Tabela 16. Neste modelo, considerou-se as mesmas inicializações e restrições para os parâmetros comuns. Quanto aos parâmetros específicos do modelo ( $k_3$  e

$\tau_3$ ), optou-se por soluções gerais (em linha com as que tinham sido definidas para o modelo de Banister) ou pela solução reportada em Busso (2003). Verificou-se, tal como no modelo de Banister, que são as restrições e não as soluções iniciais que determinam se os parâmetros são, ou não, adequados. Por outro lado, verificou-se que ambos os modelos (de Banister e de Busso) fornecem soluções finais idênticas para os parâmetros comuns. Na Tabela 17 apresenta-se as opções tomadas para o modelo de Hellard. Também aqui se considerou as mesmas inicializações e restrições para os parâmetros comuns. Quanto aos parâmetros específicos do modelo, optou-se pela solução  $\gamma = 2,5$  e  $\delta = 3$ , de acordo com o que foi reportado por Hellard et al. (2005). A inicialização  $\gamma = 0,001$  e  $\delta = 150$ , também considerada, conduziu a uma boa solução para alguns atletas. Neste modelo, observou-se que a solução final depende fortemente das restrições impostas, mas também das inicializações. Veja-se a título de exemplo, na Tabela 18, as soluções obtidas para dois dos nadadores (atleta 1 e atleta 3).

*Tabela 16: Inicializações e restrições consideradas, para o modelo de Busso, em estudo de simulação.*

Inicializações
$\rho_0 = 93; k_1 = 0,05; k_3 = 0,05; \tau_1 = 45; \tau_2 = 15; \tau_3 = 3$
$\rho_0 = 93; k_1 = 0,05; k_3 = 0,000035; \tau_1 = 45; \tau_2 = 15; \tau_3 = 3$
$\rho_0 = 93; k_1 = k_3 = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 1$
$\rho_0 = k_1 = k_3 = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 1$
Restrições
$90 \leq \rho_0 \leq 100; 0 \leq k_1, k_3 \leq 1; 30 \leq \tau_1 \leq 60; 1 \leq \tau_2 \leq 20; 0 \leq \tau_3 \leq 7$
$90 \leq \rho_0 \leq 100; k_1, k_3, \tau_1, \tau_2, \tau_3 \geq 0$
$\rho_0, k_1, k_3, \tau_1, \tau_2, \tau_3 \geq 0$



*Tabela 17: Inicializações e restrições consideradas, para o modelo de Hellard, em estudo de simulação.*

Inicializações
$\rho_0 = 93; k_1 = 0,05; k_2 = 0,05; \tau_1 = 45; \tau_2 = 15; \gamma = 2,5; \delta = 3$
$\rho_0 = 93; k_1 = 0,05; k_2 = 0,05; \tau_1 = 45; \tau_2 = 15; \gamma = 0,001; \delta = 150$
$\rho_0 = 93; k_1 = k_2 = \tau_1 = \tau_2 = \gamma = \delta = 1$
$\rho_0 = k_1 = k_3 = \tau_1 = \tau_2 = \gamma = \delta = 1$
Restrições
$90 \leq \rho_0 \leq 100; 0 \leq k_1, k_2 \leq 1; 30 \leq \tau_1 \leq 60; 1 \leq \tau_2 \leq 20; 0 \leq \gamma, \delta \leq 10$
$90 \leq \rho_0 \leq 100; k_1, k_2, \tau_1, \tau_2, \gamma, \delta \geq 0$
$\rho_0, k_1, k_2, \tau_1, \tau_2, \gamma, \delta \geq 0$

*Tabela 18: Solução final obtida pelo modelo de Hellard, para os atletas 1 e 3, tendo em conta diferentes condições iniciais.*

Condição	Atleta 1	Atleta 3
$\gamma = 2,5; \delta = 3$ $0 \leq \gamma, \delta \leq 10$	$\rho_0 = 100; k_1 < 0,01; k_2 = 0,7;$ $\tau_1 = 30; \tau_2 = 20; \gamma = 7,1; \delta = 1,1$ $r^2 < 0,01$	$\rho_0 = 100; k_1 = 11,1; k_2 = 236,2;$ $\tau_1 = 30; \tau_2 = 3,8; \gamma = 0,4; \delta = 10$ $r^2 = 0,77$
$\gamma = 2,5; \delta = 3$ $\gamma, \delta \geq 0$	$\rho_0 = 100; k_1 < 0,01; k_2 = 0,7;$ $\tau_1 = 30,1; \tau_2 = 20; \gamma = 12,5; \delta = 3,0$ $r^2 < 0,01$	$\rho_0 = 90; k_1 = 9,2; k_2 = 19,5;$ $\tau_1 = 30; \tau_2 = 12,4; \gamma = 12,5; \delta = 3$ $r^2 = 0,33$
$\gamma = 0,001; \delta = 150$ $\gamma, \delta \geq 0$	$\rho_0 = 95,4; k_1 < 2,8; k_2 = 55,3;$ $\tau_1 = 30; \tau_2 = 3,4; \gamma = 26,6; \delta = 93,7$ $r^2 = 0,66$	$\rho_0 = 92,8; k_1 = 92,2; k_2 = 426,1;$ $\tau_1 = 30; \tau_2 = 7,7; \gamma = 0,3; \delta = 829198,7$ $r^2 = 0,79$
Para os restantes parâmetros	$\rho_0 = 93; k_1 = 0,05; k_2 = 0,05; \tau_1 = 45; \tau_2 = 15$ $90 \leq \rho_0 \leq 100; k_1, k_2 \geq 0; 30 \leq \tau_1 \leq 60; 1 \leq \tau_2 \leq 20$	

Por fim, para o modelo de Banister com intervenções, considerou-se as restrições pertinentes para o modelo de Banister ( $90 \leq \rho_0 \leq 100$ ,  $k_1, k_2 \geq 0$ ,  $30 \leq \tau_1 \leq 60$  e  $1 \leq \tau_2 \leq 20$ ) no que respeita aos parâmetros comuns. Os restantes parâmetros foram inicializados por  $\varpi = -1$  e  $\theta = 0$  e restringidos a  $|\varpi| \leq 5$  e  $\theta \in \mathbb{R}$ .

Analizadas as questões relativas a condições iniciais para a estimação dos parâmetros, vai agora passar-se para a análise das soluções finais obtidas. Na Tabela 19 e Tabela 20 reporta-se os valores dos parâmetros dos quatro modelos para os atletas do género masculino e do género feminino, respetivamente. Nestas tabelas são também apresentadas as estatísticas que permitem aferir da qualidade do ajustamento (coeficiente de determinação e  $AIC$ ). De notar que, as cargas de treino são observadas semanalmente e portanto os valores de  $\tau_1$  e  $\tau_2$  fornecidos pelos modelos têm a mesma unidade temporal; no entanto, como na literatura é usual reportar estes valores em dias, nas tabelas é apresentada a respetiva conversão.

Os modelos de Banister e de Busso apresentam valores estimados idênticos para os parâmetros comuns. No que respeita aos indicadores de qualidade, também apresentam valores idênticos. Em geral, o coeficiente de determinação apresenta valores superiores para o modelo de Busso, contudo o valor de  $AIC$  é também superior, dado que o número de parâmetros é maior e, em geral, a melhor explicação que dá não é compensada pelo aumento do número de parâmetros. Apenas para os atletas 2 e 5, o modelo de Busso parece ser a melhor escolha.

Para o atleta 2, por exemplo, três dos modelos apresentam indicadores de qualidade muito idênticos. Considerando o coeficiente de determinação, o modelo mais adequado seria o de Banister com intervenções; no entanto, este modelo tem valores de  $r^2$  muito próximos do de Banister e do de Busso. Como o modelo de Banister é o que tem menor número de parâmetros é por essa razão que apresenta menor  $AIC$ . Combinando

*Tabela 19: Estimativas dos parâmetros e estatísticas de ajustamento, para atletas do gênero masculino e para os quatro modelos em estudo.*

Atleta	Modelo	$\rho_0$	$k_1$	$k_2$	$\tau_1$	$\tau_2$	$k_3$	$\tau_3$	$\gamma$	$\delta$	$\varpi$	$\theta$	$r^2$	AIC
1	Ban	97,6	0,02	0,30	30,0	4,2							0,50	104,1
	Bus	96,0	0,01		30,0	3,1	2E-03	4,2					0,41	110,9
	Hel	95,4	2,76	55,32	30,0	3,4			26,6	93,7			<b>0,66</b>	<b>102,9</b>
	Ban+int	95,5	0,02	0,28	30,0	4,5					1,4	-2,9	0,55	108,8
2	Ban	99,7	0,01	0,13	30,0	4,5							0,50	<b>72,8</b>
	Bus	97,2	0,01		30,0	2,4	2E-03	0,2					0,57	73,9
	Hel	95,1	1,00	0,07	31,6	7,5			5,7	1,1			0,02	90,6
	Ban+int	98,1	0,02	0,06	30,0	9,0					-0,2	-1,3	<b>0,58</b>	77,2
3	Ban	94,1	0,01	0,06	48,2	9,1							0,74	<b>65,5</b>
	Bus	90,0	0,02		45,1	10,8	2E-04	0,2					0,74	69,3
	Hel	100,0	11,13	236,20	30,0	3,8			0,4	10,0			0,77	71,3
	Ban+int	91,2	0,02	0,05	44,1	13,0					1,4	-2,1	<b>0,78</b>	70,4
4	Ban	100,0	3E-03	0,02	60,0	16,6							0,32	<b>70,8</b>
	Bus	99,7	3E-08		58,1	1,5	8E-03	0,01					0,28	75,3
	Hel	96,5	0,22	0,03	60,0	7,9			6,6	2,9			<0,01	83,5
	Ban+int	100,0	1E-04	1,00	30,0	1,7					3,1	-1,0	<b>0,51</b>	74,3
5	Ban	100,0	0,01	1,00	30,0	2,2							0,65	<b>66,3</b>
	Bus	100,0	1E-03		30,0	1,2	0,05	0,3					<b>0,71</b>	67,6
	Hel	98,1	2E-09	9E-03	30,3	8,7			6,6	0,8			<0,01	90,2
	Ban+int	100,0	6E-03	1,00	30,0	2,2					-1,4	1,7	0,67	73,2

A bold os melhores valores de  $r^2$  e os melhores valores de AIC

*Tabela 20: Estimativas dos parâmetros e estatísticas de ajustamento, para atletas do gênero feminino e para os quatro modelos em estudo.*

Atleta	Modelo	$\rho_0$	$k_1$	$k_2$	$\tau_1$	$\tau_2$	$k_3$	$\tau_3$	$\gamma$	$\delta$	$\varpi$	$\theta$	$r^2$	AIC
6	Ban	96,8	0,02	1,00	30,0	2,3							0,64	75,5
	Bus	93,3	0,02		30,0	1,0	0,24	0,1					0,68	77,0
	Hel	98,5	6E-07	0,01	30,0	3,1			8,0	0,1			<0,01	98,0
	Ban+int	95,3	0,02	0,18	30,0	4,4					-5,0	4,80	<b>0,79</b>	<b>75,0</b>
7	Ban	100,0	4E-03	1,00	30,0	1,7							0,15	<b>76,6</b>
	Bus	99,7	4E-03		30,0	1,0	0,07	0,4					0,18	79,3
	Hel	100,0	0,15	2E-08	30,0	7,0			6,9	1,3			<0,01	86,5
	Ban+int	99,4	4E-03	7E-03	60,0	20,0					-3,2	1,3	<b>0,43</b>	76,9
8	Ban	99,7	2E-14	0,82	30,2	1,6							0,09	<b>83,5</b>
	Bus	99,3	7E-05		30,0	1,0	0,06	0,1					0,12	86,4
	Hel	100,0	3E-09	0,86	45,4	3,6			0,5	9,9			0,02	92,0
	Ban+int	100,0	6E-04	1,00	30,0	1,6					-2,8	2,2	<b>0,20</b>	88,7
9	Ban	100,0	0,01	1,00	30,0	2,0							0,18	117,1
	Bus	100,0	4E-03		30,0	1,3	0,03	0,04					0,23	118,9
	Hel	97,2	0,98	0,96	30,0	8,3			2,9	10,0			<0,01	128,1
	Ban+int	100,0	0,01	0,29	30,0	3,3					-0,8	-2,4	<b>0,40</b>	<b>116,9</b>
10	Ban	100,0	5E-04	1,00	30,0	1,6							0,22	<b>69,9</b>
	Bus	99,6	3E-07		30,0	1,0	0,05	0,4					0,20	73,6
	Hel	99,6	0,02	49,7	30,3	2,1			128,7	127,9			<b>0,35</b>	74,1
	Ban+int	100,0	2E-03	1,00	30,0	1,8					6E-03	-1,1	0,30	75,3
11	Ban	95,4	0,02	1,00	30,0	2,1							0,53	<b>81,1</b>
	Bus	92,8	0,02		30,0	1,0	0,18	0,2					0,56	83,5
	Hel	100,0	7,04	231,47	40,7	12,7			0,5	10,0			0,37	93,3
	Ban+int	93,7	0,02	1,00	35,2	2,1					0,7	-2,0	<b>0,59</b>	85,4

A bold os melhores valores de  $r^2$  e os melhores valores de AIC

ambos os critérios, a opção mais equilibrada será escolher o modelo de Busso. Na Figura 4 e na Figura 5 apresenta-se a carga de treino, a evolução dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e os desempenhos (real e estimado) ao longo das duas épocas para o modelo de Busso e para o modelo de Banister com intervenções, respetivamente. Como se pode verificar, as diferenças são muito ténues no que respeita aos desempenhos estimados. No entanto, as trajetórias dos PTEs e NTEs apresentam algumas diferenças.

Quando se compara o modelo de Banister e o modelo de Banister com intervenções, o  $r^2$  é necessariamente superior para o último; no entanto, em alguns casos, o valor de  $AIC$  também é superior. Ainda assim, será razoável optar pelo modelo com intervenções nos casos dos atletas 4, 6, 7, 8, 9 e 11.

Na Figura 6 e na Figura 7 ilustra-se a carga de treino, a evolução dos PTEs e NTEs, e os desempenhos (real e estimado), ao longo das duas épocas, obtidos para a atleta 11 utilizando os modelos de Banister e de Banister com intervenções, respetivamente. O modelo com intervenções parece ajustar ligeiramente melhor, especialmente ao longo da 2ª época.

No que diz respeito ao modelo de Hellard, em geral, este conduz a ajustamentos muito fracos (veja-se os atletas 2, 4, 5, 6, 7, 8 e 9). No entanto, revela-se como a melhor escolha para os atletas 1 e 10.

Para o atleta 1, ambos os indicadores ( $r^2$  e  $AIC$ ) sugerem que o modelo que melhor se adapta é o modelo de Hellard. De qualquer modo, será de destacar que os valores dos parâmetros  $p_0$ ,  $\tau_1$ , e  $\tau_2$  são muito idênticos para os quatro modelos. Na Figura 8 apresenta-se a carga de treino, outputs

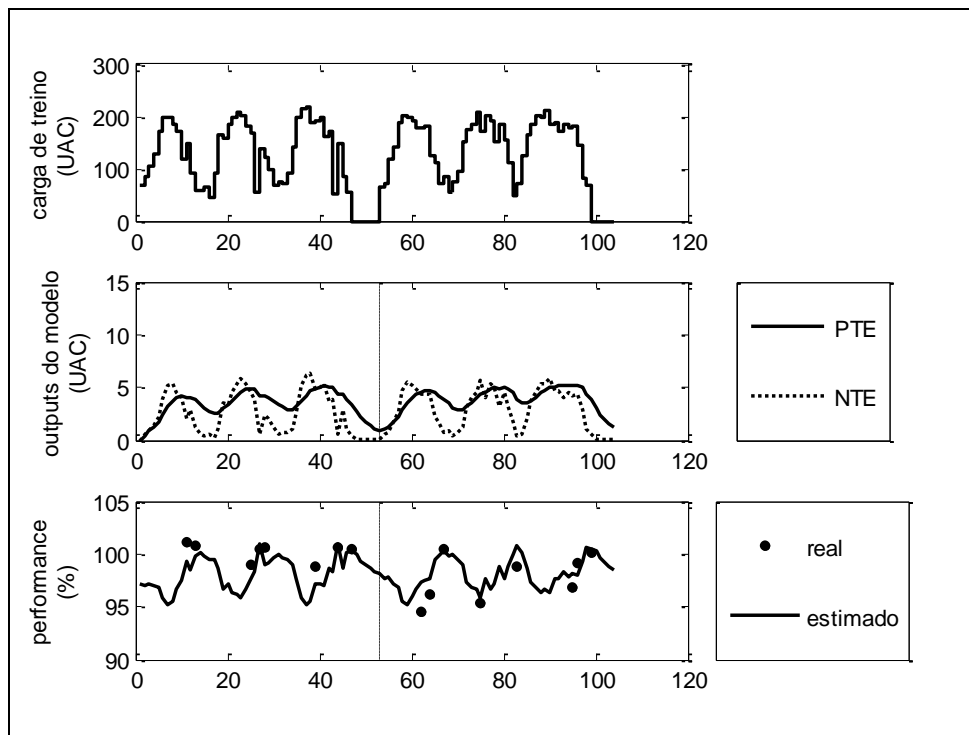


Figura 4: Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 2 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimacção dada pelo modelo de Busso (a linha vertical representa o início da 2ª época).

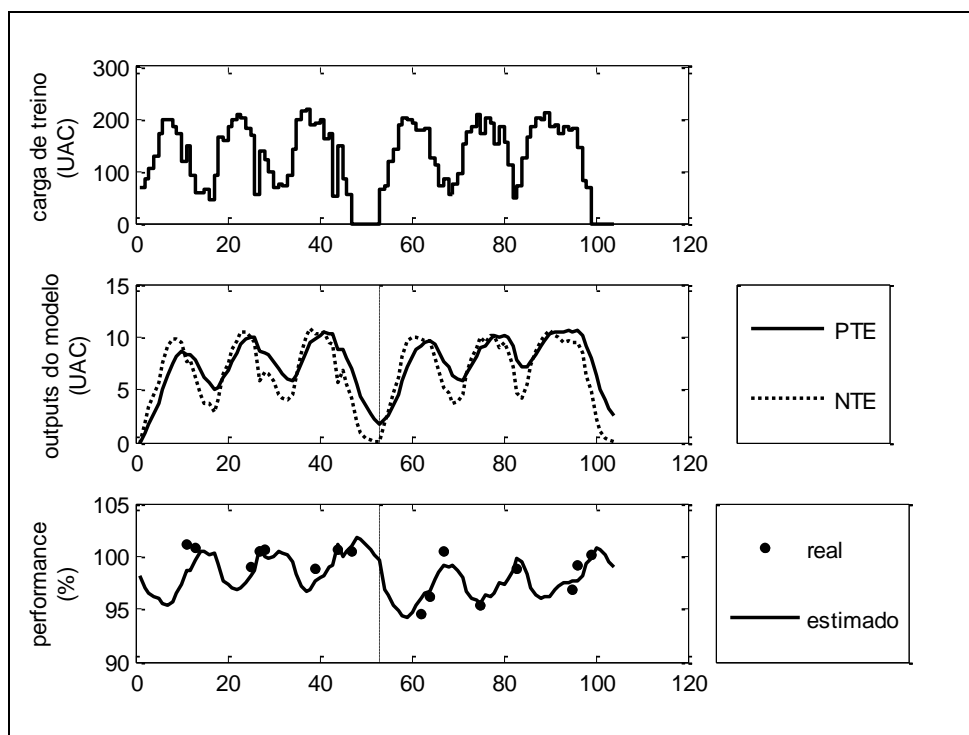


Figura 5: Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 2 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimacção dada pelo modelo de Banister com intervenções (a linha vertical representa o início da 2ª época).

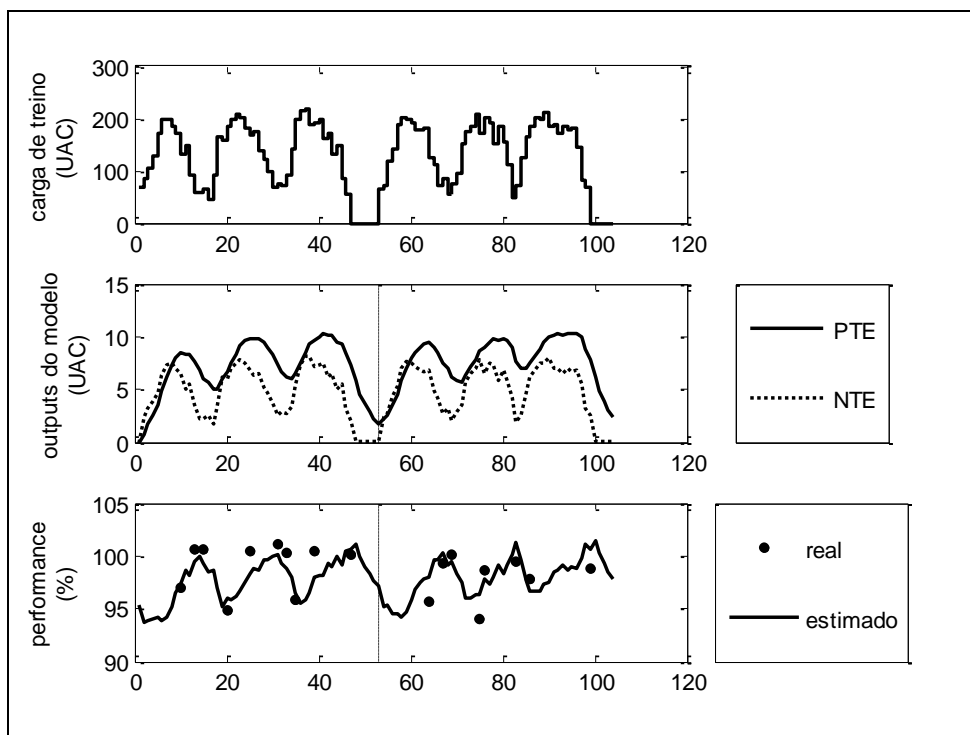


Figura 6: Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 11 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimaco dada pelo modelo de Banister (a linha vertical representa o inicio da 2ª época).

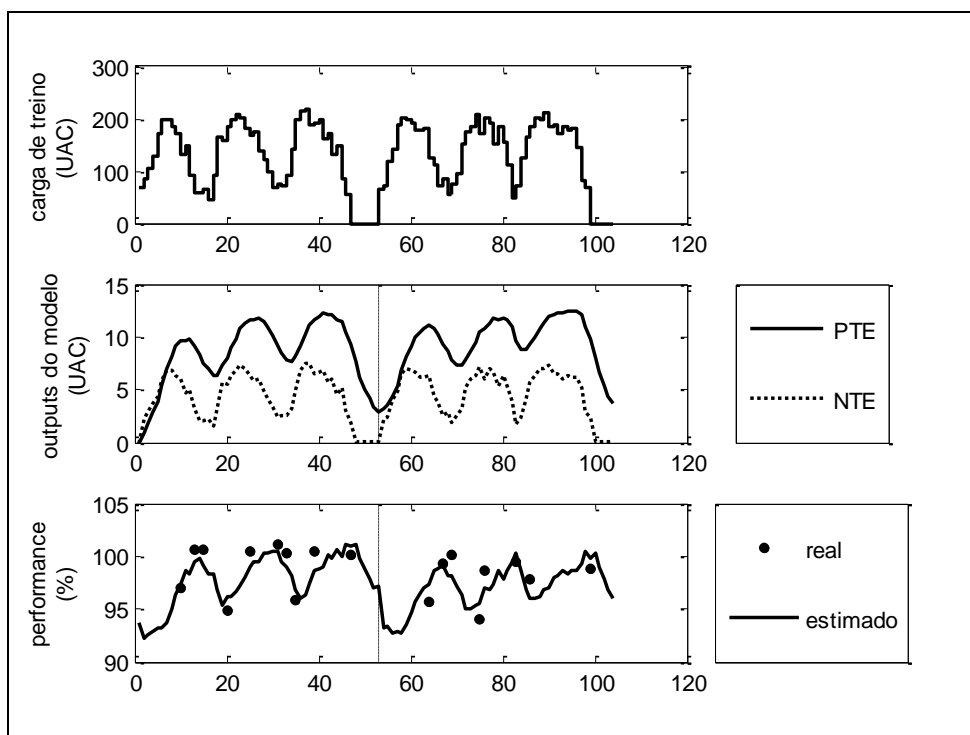


Figura 7: Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 11 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimaco dada pelo modelo de Banister com intervenções (a linha vertical representa o inicio da 2ª época).

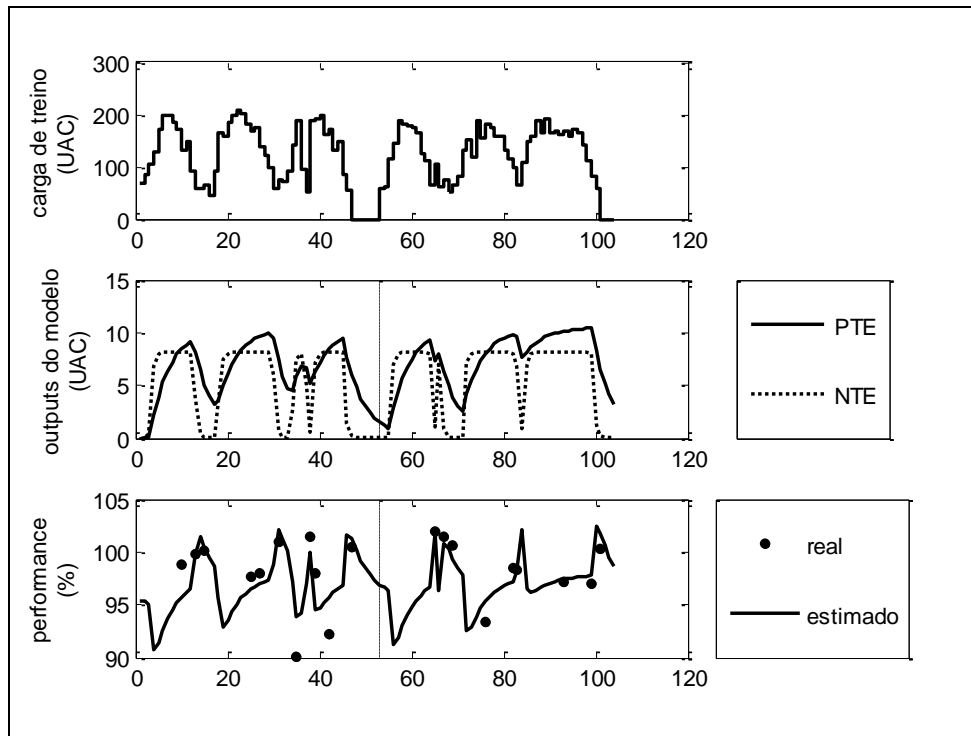


Figura 8: Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 1 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Hellard (a linha vertical representa o início da 2ª época).

do modelo e desempenhos ao longo das duas épocas, utilizando o modelo de Hellard.

O atleta 3 é o que permite melhores ajustamentos, apresentando coeficientes de determinação acima de 0.7 para todos os modelos. Quanto aos valores dos parâmetros  $p_0$ ,  $\tau_1$ , e  $\tau_2$ , mais uma vez, são muito idênticos para todos os modelos à exceção do modelo de Hellard. No que respeita aos indicadores de qualidade, a pouca de diferença entre os  $r^2$  e o facto do  $AIC$  ser consideravelmente mais baixo para o modelo de Banister, levam a que se deva optar pelo modelo de Banister. Na Figura 9 apresenta-se a carga de treino, outputs do modelo e desempenhos ao longo das duas épocas de acordo com o modelo de Banister.

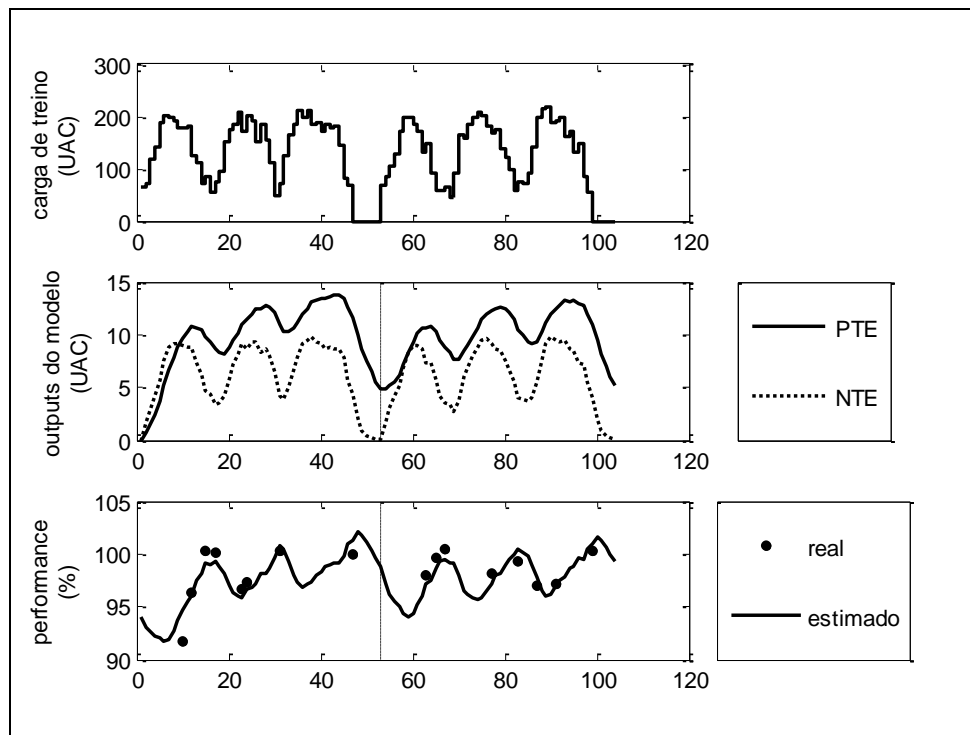


Figura 9: Evolução da carga de treino, dos efeitos positivos e negativos (PTEs e NTEs) e do desempenho (real e estimado) do atleta nº 3 ao longo das épocas 2011-2012 e 2012-2013, de acordo com a estimacção dada pelo modelo de Banister (a linha vertical representa o início da 2ª época).

#### 4.2.2 Diagnóstico

Os modelos de função de transferência que ajustam o desempenho de um atleta, em função das respetivas cargas de treino, têm sido alvo de algumas críticas uma vez que se considera que embora o ajustamento seja razoável, o mesmo não acontece com a capacidade preditiva. Nesse sentido, vai usar-se a 1ª época (2011-2012) para efetuar a estimacção de parâmetros e a 2ª época (2012-2013) para fazer a avaliação do modelo ajustado.

Na Tabela 21 e na Tabela 22 reporta-se as estatísticas que permitem aferir da qualidade do ajustamento ( $r^2$  e  $AIC$ ) dos três modelos (Banister, Busso e Hellard) ajustados considerando apenas as séries temporais relativas à 1ª



*Tabela 21: Estatísticas de ajustamento para a época 2011-2012 e estatísticas de avaliação de diagnóstico para a época 2012-2013, para atletas do género masculino e para os três modelos em estudo.*

Atleta	Modelo	1ª época		2ª época	
		$r^2$	AIC	$\hat{\sigma}^2$	U-Theil
1	Ban	0,42	69,2	4,85	0,50
	Bus	0,34	74,6	8,33	0,62
	Hel	<b>0,60</b>	73,6	4,45	<b>0,43</b>
2	Ban	0,45	32,4	19,97	0,74
	Bus	<b>0,66</b>	33,8	27,86	<b>0,71</b>
	Hel	<0,01	50,0	84,66	0,87
3	Ban	0,84	30,2	10,39	<b>0,18</b>
	Bus	0,79	37,3	15,42	0,20
	Hel	<b>0,89</b>	40,1	35,23	0,20
4	Ban	0,26	49,8	14,58	1,58
	Bus	0,35	54,0	19,16	1,41
	Hel	<b>0,53</b>	58,9	14,57	<b>0,44</b>

A bold os melhores valores de  $r^2$  e os melhores valores da estatística U-Theil

*Tabela 22: Estatísticas de ajustamento para a época 2011-2012 e estatísticas de avaliação de diagnóstico para a época 2012-2013, para atletas do género feminino e para os três modelos em estudo.*

Atleta	Modelo	1ª época		2ª época	
		$r^2$	AIC	$\hat{\sigma}^2$	U-Theil
6	Ban	0,78	44,5	13,01	0,50
	Bus	0,77	50,0	15,71	<b>0,45</b>
	Hel	<b>0,86</b>	53,6	55,61	0,60
7	Ban	0,14	31,3	16,82	0,97
	Bus	0,05	37,4	27,17	1,01
	Hel	<b>0,51</b>	39,5	42,12	<b>0,88</b>
8	Ban	0,14	57,7	4,40	<b>0,78</b>
	Bus	0,18	61,8	6,61	0,80
	Hel	<b>0,51</b>	62,8	7,87	0,83
9	Ban	0,30	79,9	9,20	1,31
	Bus	<b>0,35</b>	82,4	9,59	1,24
	Hel	<0,01	92,3	8,69	1,00
10	Ban	0,22	47,0	4,00	<b>0,58</b>
	Bus	<b>0,23</b>	51,5	5,81	<b>0,58</b>
	Hel	0,02	59,3	8,96	0,66
11	Ban	<b>0,83</b>	43,6	10,34	0,70
	Bus	0,78	50,3	9,27	<b>0,59</b>
	Hel	<b>0,83</b>	52,7	17,05	0,70

A bold os melhores valores de  $r^2$  e os melhores valores da estatística U-Theil

época, para atletas do género masculino e do género feminino, respetivamente.

Com o modelo estimado para a 1ª época, obtém-se valores preditos para a 2ª época. Em seguida, compara-se os valores obtidos por previsão com as

verdadeiras performances obtidas durante a 2ª época. Na Tabela 21 e na Tabela 22 são também apresentadas as estatísticas que permitem fazer a avaliação do diagnóstico através da variância dos resíduos ( $\hat{\sigma}^2$ ) e da estatística  $U$  de Theil.

De referir que não é reportada a informação relativa ao atleta 5, dado que na 1ª época o número de provas realizado (apenas seis - ver Tabela 7) não permite fazer o ajustamento dos modelos de Busso e de Hellard.

A análise dos resultados permite verificar que, em geral, o modelo que apresenta melhor coeficiente de determinação para o ajustamento da 1ª época é o mesmo que apresenta melhor valor para a estatística  $U$  de Theil. O que sugere que o modelo que melhor estima seja o mesmo que obtém as melhores previsões.

De referir que o mínimo de  $AIC$  é sempre obtido para o modelo de Banister. Este facto pode ser explicado pela reduzida dimensão das séries de performance para uma única época, tendo em conta que está a ser usada uma aproximação do verdadeiro  $AIC$ . De um modo geral, a variância dos resíduos ( $\hat{\sigma}^2$ ) também é menor para o modelo de Banister. Mais uma vez, a justificação prende-se com a reduzida dimensão das séries, já que a variância é calculada como o quociente entre a soma dos quadrados dos resíduos e a dimensão da série menos o número de parâmetros estimados pelo modelo (por exemplo, se a série tiver dimensão nove, então o denominador é dois para o modelo de Hellard e quatro para o modelo de Banister).

No que respeita à estatística  $U$  de Theil, que tem como objetivo comparar a eficiência do modelo ajustado face a um método que consiste em considerar

como previsão a observação mais recente que esteja disponível, pode observar-se que os modelos ajustados fornecem melhores previsões que o método *naïve*. Em geral, os valores desta estatística são inferiores à unidade e na maior parte dos casos bastante inferior. Excetua-se a atleta 9, para a qual se regista  $U \geq 1$  para qualquer dos três modelos (mas veja-se que os coeficientes de determinação relativos ao ajustamento dos modelos para a 1ª época são também muito baixos).

O atleta 3 é o que apresenta melhores ajustamentos para a 1ª época em qualquer dos modelos e é também o que melhores valores obtém para a estatística  $U$  de Theil. Na Figura 10 apresenta-se a evolução da carga de treino, do desempenho (real e estimado) e respetivos resíduos para este atleta ao longo da época 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Banister para a época 2011-2012. Na Figura 11 tem-se as mesmas representações gráficas, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Hellard para a época 2011-2012. Em ambos os casos se observa uma muito boa aproximação entre valores reais e preditos.

Para finalizar, observe-se a atleta 10, que apresenta indicadores de ajustamento muito fracos para qualquer dos modelos; no entanto, os valores da estatística  $U$  de Theil são bastante razoáveis. Na Figura 12 apresenta-se a evolução da carga de treino, do desempenho (real e estimado) e respetivos resíduos para esta atleta ao longo da época 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Banister para a época 2011-2012. Verifica-se que, apenas na penúltima prova da época, a performance registada ficou um pouco abaixo do valor predito pelo modelo.

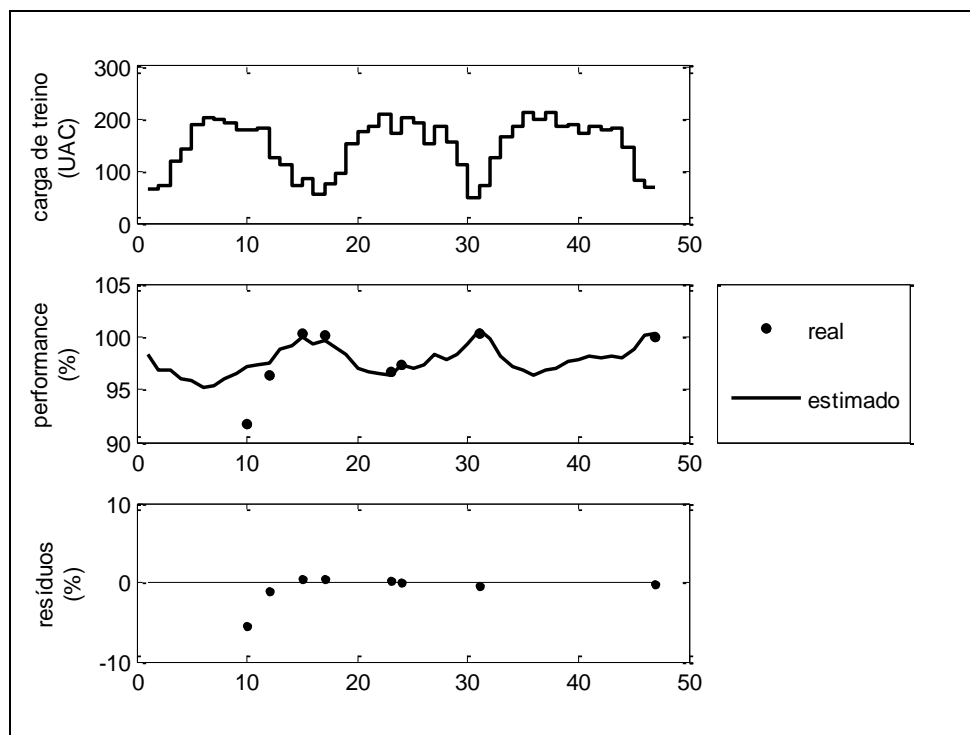


Figura 10: Evolução da carga de treino, do desempenho (real e estimado) e respetivos resíduos para o atleta nº 3 ao longo da época 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Banister para a época 2011-2012.

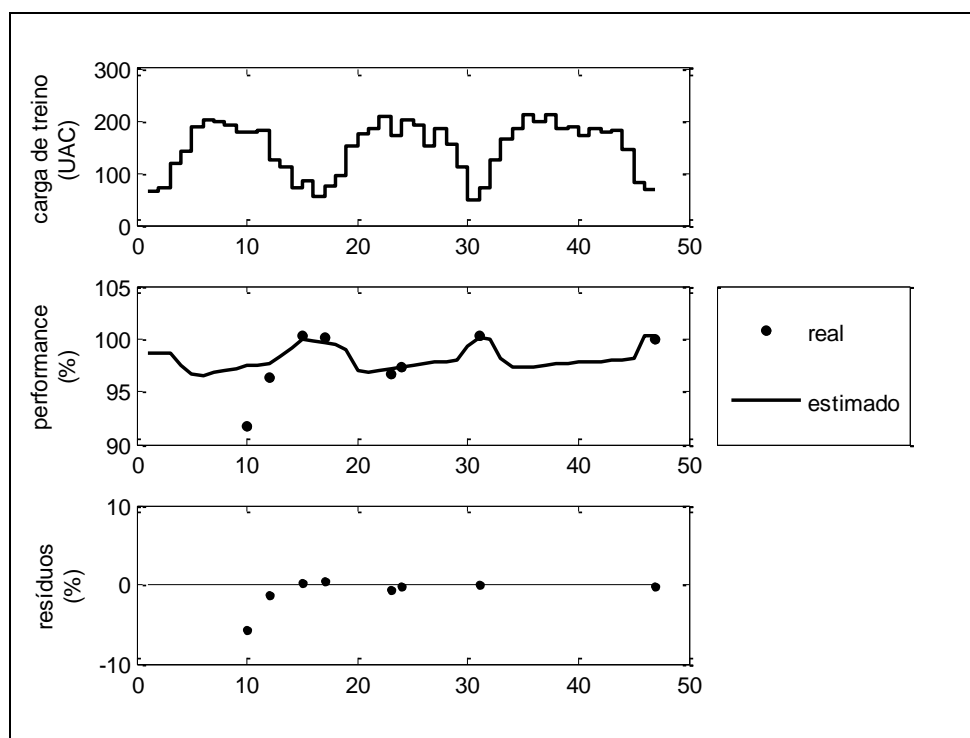


Figura 11: Evolução da carga de treino, do desempenho (real e estimado) e respetivos resíduos para o atleta nº 3 ao longo da época 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Hellard para a época 2011-2012.

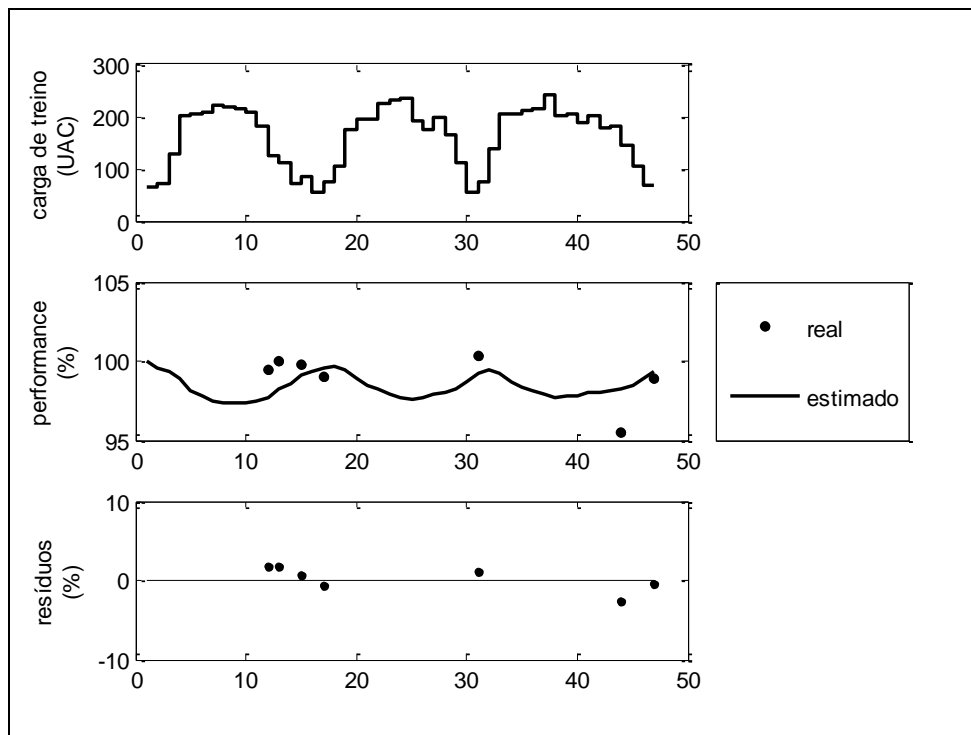


Figura 12: Evolução da carga de treino, do desempenho (real e estimado) e respectivos resíduos para o atleta nº 10 ao longo da época 2012-2013, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Banister para a época 2011-2012.

Como já foi referido, não pode ainda ser feita a avaliação de diagnóstico relativa ao modelo de Banister com intervenções, uma vez que para o ajustamento considerou-se apenas a época de 2011-2012 e para um ajustamento com intervenções são necessárias, pelo menos, duas épocas. No entanto, os resultados reportados na Tabela 19 e na Tabela 20 criam uma expectativa positiva quanto aos valores preditos que poderão ser obtidos com este modelo.

### 4.2.3 Simulação

Foram definidos diferentes programas de treino possíveis, para administrar durante a época 2013-2014, em que se procurou estudar a resposta de alguns atletas a três estratégias de *taper* distintas. As simulações foram efetuadas para quatro participantes do estudo (atletas 1, 3, 6 e 11), através do modelo que, para cada um, apresentou um melhor ajustamento (ver Tabela 19 e Tabela 20) e utilizando os parâmetros individuais estimados em função das duas épocas anteriores (2011-2012 e 2012-2013).

Os atletas 1 (ver Tabela 23 e Figura 13), 6 (ver Tabela 25 e Figura 15) e 11 (ver Tabela 26 e Figura 16) revelam uma melhor resposta simulada à estratégia C, enquanto o atleta 3 (ver Tabela 24 e Figura 14) obtém melhores resultados com a estratégia B.

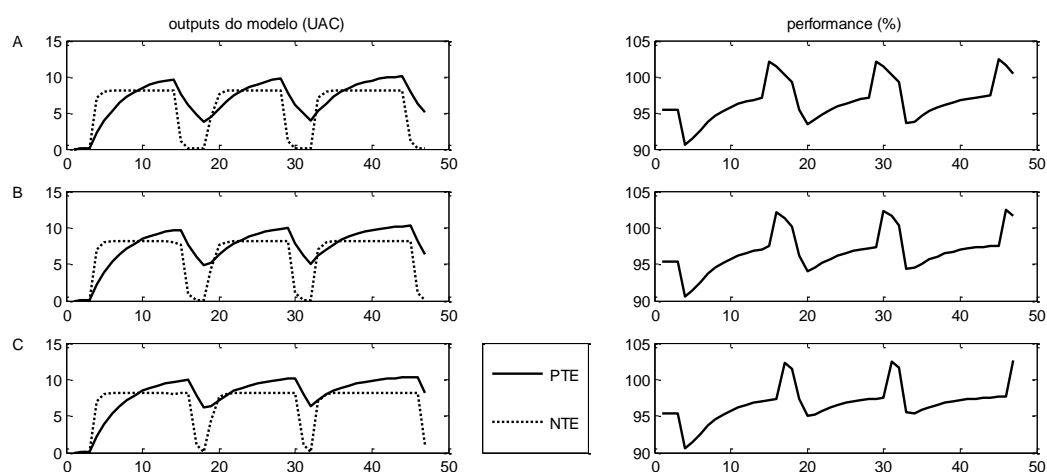
A estratégia de *taper* que produziu melhores resultados simulados manteve-se a mesma, para os três períodos de *taper*, nos quatro sujeitos aqui tratados. A estratégia A não parece ser favorável para qualquer dos sujeitos.

A duração ótima, do período de *taper*, comumente reportada na literatura situa-se entre as duas e as três semanas (Bosquet et al., 2007; LeMeur et al., 2012; Mujika & Padilla, 2003; D. Pyne et al., 2009). No entanto, têm sido reportados casos em que uma semana de *taper* se revela ideal para alguns nadadores que, apesar de conseguirem reduzir os seus níveis de fadiga muito rapidamente, as suas adaptações também desaparecem de forma rápida (LeMeur et al., 2012; Mujika, 1998, 2003).

*Tabela 23: Desempenhos simulados (%) para o atleta 1, em função das três estratégias de taper testadas, para a época 2013-2014, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Hellard.*

Semana da prova	Estratégia A	Estratégia B	Estratégia C
16	100,2	101,4	<b>102,3</b>
30	100,2	101,5	<b>102,4</b>
46	100,4	101,7	<b>102,6</b>

A bold os melhores valores de desempenho simulado



*Figura 13: Variação dos valores simulados de NTEs, PTEs (UAC) e performance (%) para o atleta 1, em função das três estratégias de taper testadas (A, B, C) para a época 2013-2014, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Hellard.*

*Tabela 24: Desempenhos simulados (%) para o atleta 3, em função das três estratégias de taper testadas para a época 2013-2014, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Banister.*

Semana da prova	Estratégia A	Estratégia B	Estratégia C
16	99,3	<b>99,4</b>	99,3
30	100,7	<b>101,0</b>	100,8
46	101,4	<b>101,8</b>	101,6

A bold os melhores valores de desempenho simulado

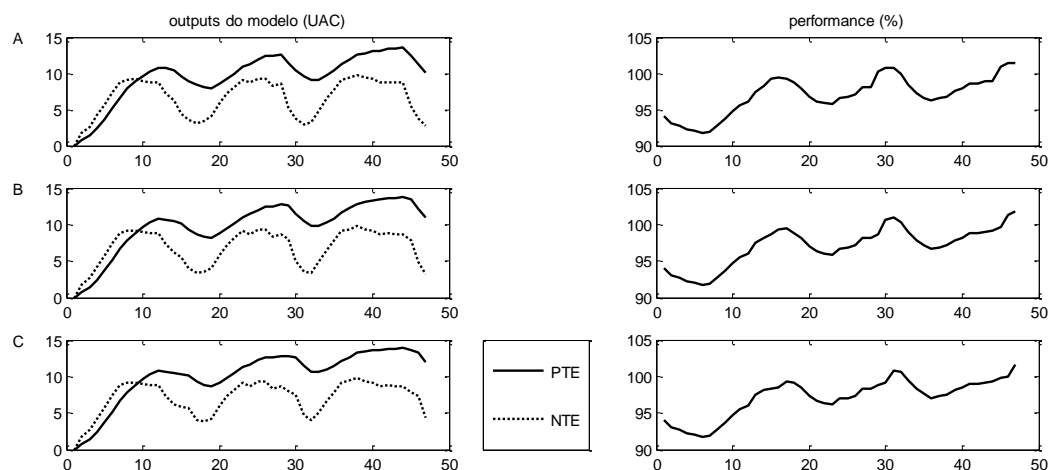


Figura 14: Variação dos valores simulados de NTEs, PTEs (UAC) e performance (%) para o atleta 3, em função das três estratégias de taper testadas (A, B, C) para a época 2013-2014, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Banister.

Tabela 25: Desempenhos simulados (%) para o atleta 6, em função das três estratégias de taper testadas para a época 2013-2014, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Banister com intervenções.

Semana da prova	Estratégia A	Estratégia B	Estratégia C
16	99,4	99,7	<b>100,0</b>
30	100,3	101,1	<b>101,5</b>
46	100,8	101,5	<b>101,9</b>

A bold os melhores valores de desempenho simulado

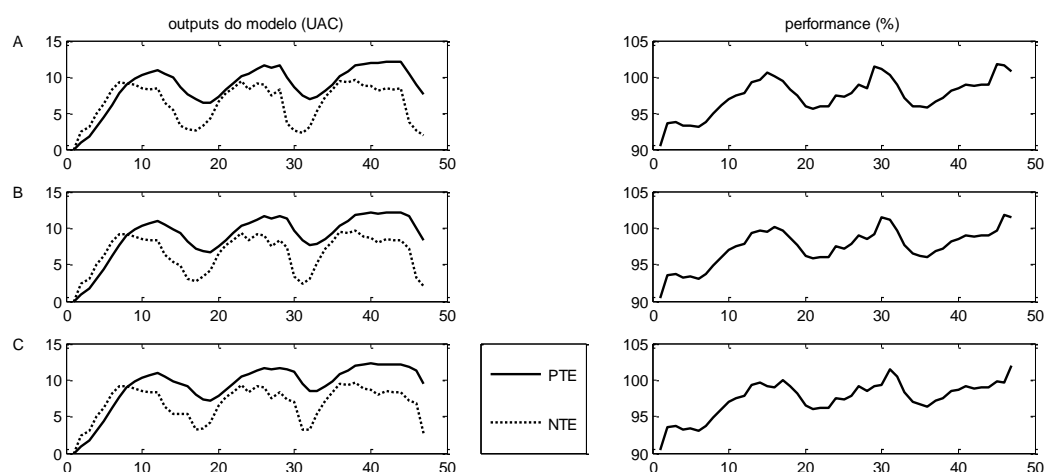


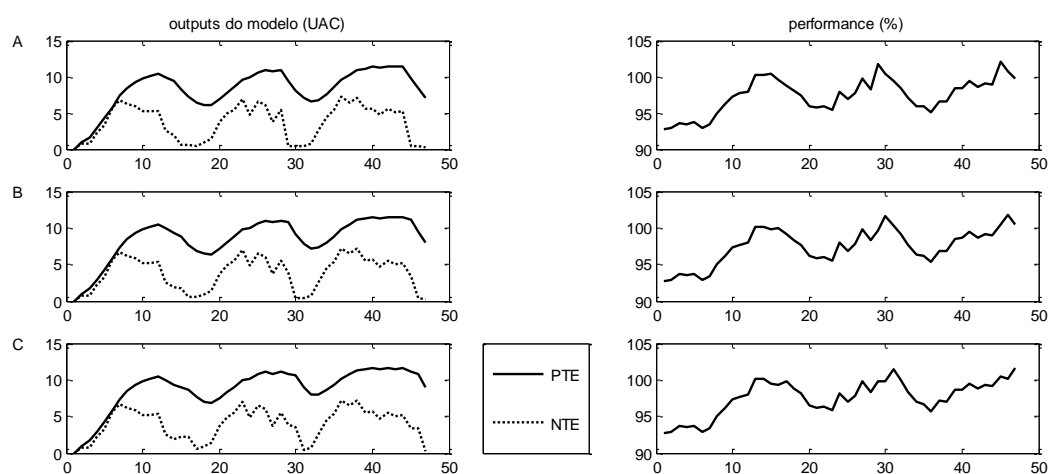
Figura 15: Variação dos valores simulados de NTEs, PTEs (UAC) e performance (%) para o atleta 6, em função das três estratégias de taper testadas (A, B, C) para a época 2013-2014, de acordo com a estimacão dada pelo modelo de Banister com intervenções.



*Tabela 26: Desempenhos simulados (%) para o atleta 11, em função das três estratégias de taper testadas para a época 2013-2014, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Busso.*

Semana da prova	Estratégia A	Estratégia B	Estratégia C
16	99,8	99,2	<b>99,9</b>
30	99,5	100,3	<b>101,4</b>
46	99,7	100,5	<b>101,6</b>

A bold os melhores valores de desempenho simulado



*Figura 16: Variação dos valores simulados de NTEs, PTEs (UAC) e performance (%) para o atleta 11, em função das três estratégias de taper testadas (A, B, C) para a época 2013-2014, de acordo com a estimação dada pelo modelo de Busso.*

Os resultados obtidos vêm pois reforçar a variabilidade inter-individuos da resposta ao período de *taper* (Mujika et al., 1996; Thomas & Busso, 2005). De facto, a duração do *taper* deve ser determinada individualmente, para cada atleta, de acordo com o seu perfil específico de adaptação às cargas de treino, por um lado e de perda das adaptações induzidas pelo processo de treino por outro (Mujika, 2003; Mujika & Padilla, 2003).

## 5 Conclusões

A possibilidade de modelação da capacidade de desempenho em função das cargas de treino parece ser uma ferramenta útil na compreensão da resposta dos atletas ao processo de treino em geral, e ao taper, em particular (Avalos et al., 2003; Busso, 2003; Busso et al., 1994; Busso et al., 1991; Busso et al., 1997; Mujika et al., 1996; Thomas & Busso, 2005; Thomas et al., 2008). No entanto, o estudo comparativo de vários modelos matemáticos realizado no âmbito desta tese não permite considerar que algum dos modelos, dê, de uma forma global, uma melhor descrição das respostas dos atletas ao processo de treino. Antes realça o carácter individual destas respostas, o que se reflete no facto de, para cada atleta, poder haver um diferente modelo com uma melhor capacidade de ajustamento e predição. Salienta-se, contudo o facto de que o modelo que melhor estima, para cada atleta, ser, também, aquele que, em geral, obtém as melhores previsões.

A introdução de intervenções no modelo de Banister parece melhorar a sua capacidade de ajustamento, o que se traduz em valores superiores no coeficiente de determinação, para a maioria dos atletas. No entanto, estes resultados não foram acompanhados, para todos os atletas, por valores de *AIC* mais baixos, pelo que se torna necessário mais estudos para aferir das

mais valias da introdução das intervenções. Estes resultados, contrariam, em parte, a assunção de que o modelo de Busso, por ter parâmetros variáveis com o tempo, poderia descrever melhor as respostas dos atletas (Busso, 2003; Mujika, 2009; Thomas et al., 2008).

A capacidade preditiva deste tipo de modelos tem também, sido considerada pouco precisa (Busso & Thomas, 2006; Hellard et al., 2006; Morin, Ahmaïdi, & Leprêtre, 2014; Taha & Thomas, 2003). No entanto, consideramos que, mais relevante do que conseguir prever, de forma exata e quantitativa, a performance de um atleta, a grande vantagem da utilização deste tipo de modelos matemáticos reside no facto de permitir uma conceptualização das adaptações dos atletas ao processo de treino. De facto, a possibilidade de modelação das respostas dos atletas, pode acrescentar informação importante ao processo de periodização das cargas de treino, principalmente no que diz respeito ao período de taper, permitindo estudar, *a priori*, diferentes estratégias de gestão das cargas, de forma a otimizar o rendimento dos atletas (Avalos et al., 2003; Busso & Thomas, 2006; Hellard et al., 2013; Thomas & Busso, 2005; Thomas et al., 2008).

O melhor argumento sobre as vantagens da utilização de modelos matemáticos vem de técnicos de atletas de elite, alguns deles campeões e recordistas do mundo, que em situações reais, no terreno, os referem como uma ferramenta útil e de sucesso no planeamento e periodização do processo de treino (Clarke & Skiba, 2013; Mujika et al., 1995).

Temos, portanto, de concordar com Dawkins (2006), citado por Mujika (2009), quando refere que “Existem bons e maus modelos, e mesmo os bons não fazem mais do que aproximações. Não existe nenhuma simulação

capaz de prever exatamente aquilo que acontecerá na realidade, mas uma boa simulação é incomensuravelmente preferível a testes cegos”.

- **Limitações e Sugestões de Pesquisa**

Tal como sucede em qualquer trabalho de investigação, esta tese apresenta limitações que devem ser consideradas em futuras pesquisas. A opção de fazer deste trabalho um estudo no terreno, enquadrado no processo de treino de um grupo de atletas e utilizando competições reais como medida de desempenho, apresenta, à partida, um conjunto de limitações.

A grande vantagem prende-se, obviamente, com a possibilidade de utilizar dados reais, decorrentes de um processo de treino normal, de um conjunto de atletas de elite, sem qualquer influência da parte do estudo e assim ganhar uma componente “realista” que não se poderia reproduzir num estudo laboratorial.

Por outro lado, ao não ter qualquer interferência no processo de treino e no calendário de competições em que os atletas participaram, o estudo perde alguma precisão e capacidade de controlo.

De facto, não foi possível, neste estudo de terreno, com esta duração e com esta dimensão de amostra, controlar de uma forma precisa a carga interna a que cada atleta foi sujeito.

Também a opção de utilizar eventos competitivos reais, tanto nacionais como internacionais, como medida de desempenho se apresenta como uma limitação ao estudo, uma vez que ficamos restringidos a um número reduzido (por comparação com a literatura) de avaliações, o que pode influenciar a capacidade de ajustamento dos modelos utilizados.

A continuação dos estudos dentro desta temática deverá ter, portanto, em linha de conta este tipo de dificuldades operacionais. e deixamos de seguida algumas recomendações.

Em primeiro lugar, torna-se crucial quantificar a carga de treino de uma forma mais rigorosa. Esta é uma tarefa complexa e, até à data, existem poucos meios, suficientemente precisos, que permitam quantificar em toda a extensão a carga de treino a que os atletas, individualmente, estão sujeitos, sem provocar desconforto e perturbação ao processo normal de treino (Morin et al., 2014).

Em segundo lugar, também nos parece recomendável poder dispor do maior número possível de avaliações de desempenho, uma vez que o ajustamento do modelo utilizado pode ser influenciado pelo número destas medidas. Isto poderá ser realizado complementando as avaliações de desempenho em situação real de competição, com testes protocolares realizados durante o processo de treino. Estes testes deverão ser feitos em intensidade máxima, preferencialmente em ritmo constante e mantendo as condições de realização o mais estáveis possível (à mesma hora do dia, no mesmo tipo de piscina, etc.) de forma a minimizar a influência de fatores externos. Em situação ideal, os testes protocolares deveriam ser realizados na mesma distância e na mesma técnica de nado do que a prova principal de cada atleta. Por último, de acordo com Clarke and Skiba (2013), os testes deverão ser realizados com a maior frequência possível, sendo recomendado, no mínimo, uma vez por semana.

Em terceiro lugar, seria também interessante complementar o *input* fornecido ao modelo matemático, com alguns marcadores de fadiga fisiológicos,

recolhidos de uma forma periódica, ao longo de todo o programa de treino. Até à data, e neste, sentido podemos referir o estudo de Chalencon et al. (2012) que procurou definir um modelo matemático, baseado nos pressupostos do modelo de Banister et al. (1975), que relacionasse a capacidade de desempenho com a fadiga e a atividade do sistema nervoso autónomo.

## Referências

- Achten, J., & Jeukendrup, A. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538.
- Alves, F. (2000). O treino da resistência e as zonas de intensidade. *Natação/Caderno Técnico*, 4, 2-15.
- Arts, F., & Kuipers, H. (1994). The relation between power output, oxygen uptake and heart rate in male athletes. *Int J Sports Med*, 15(5), 228-231.
- Avalos, M., Hellard, P., & Chatard, J.-C. (2003). Modeling the Training-Performance Relationship Using a Mixed Model in Elite Swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(5), 838-846.
- Baldwin, J., Snow, R., & Febbraio, M. (2000). Effect of training status and relative exercise intensity on physiological response in men. *Med Sci Sports Exerc*, 32(9), 1648-1654.
- Banister, E., Calvert, T., Savage, M., & Bach, T. (1975). A Systems Model of Training for Athletic Performance. *Aust. J. Sports Med.*, 7(3), 57-61.
- Banister, E., Carter, J., & Zarcadas, P. (1999). Training theory and taper: validation in triathlon athletes. *Eur J Appl Physiol* 79, 182-191.
- Banister, E., & Hamilton, C. (1985). Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 54, 16-23.
- Banister, E., MacDougall, J., & Wenger, H. (1991). Modeling elite athletic performance: physiological testing of the high-performance athlete. Campaign: Human Kinetics.
- Beek, J. v., Supandi, F., Gavai, A., Graaf, A. d., Binsl, T., & Hettling, H. (2011). Simulating the physiology of athletes during endurance sports events: modelling human energy conversion and metabolism. *Philos Transact A Math Phys Eng Sci*, 369, 4285-4315.
- Beneke, R. (2003). Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. *Eur J Appl Physiol*, 88(4-5), 361-369.
- Berger, B., Grove, J., Prapavessis, H., & Butki, B. (1997). Relationship of swimming distance, expectancy, and performance to mood states of competitive athletes. *Percept Mot Skills*, 84, 1199-1210.
- Berger, B., Motl, R., Butki, B., Martin, D., Wilkinson, J., & Owen, D. (1999). Mood and cycling performance in response to three weeks of high-intensity, short-duration overtraining, and a two-week taper. *Sport Psychol*, 13, 444-457.
- Berglund, B., & Safstrom, H. (1994). Psychological monitoring and modulation of training load of world class canoeists. *Med Sci Sports Exerc*, 26, 1036-1040.
- Bonifazi, M., Sardella, F., & Luppo, C. (2000). Preparatory versus main competitions: differences in performance, lactate responses and pre-competition plasma cortisol concentrations in elite male swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 82, 368-373.
- Borg, G. (1985). *An introduction to Borg's RPE scale*. NY: Movement Publications.
- Borresen, J., & Lambert, M. (2009). The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779-795.
- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., & Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 39, 1358-1365.
- Busso, T. (2003). Variable dose-response relationship between exercise training and performance. *Med Sci Sports Exerc*, 35(7), 1188-1195.
- Busso, T., Benoit, H., Bonnefoy, R., Feasson, L., & Lacour, J. (2002). Effects of training on the dynamics of performance response to a single training bout. *J Appl Physiol*, 92, 572-580.

- Busso, T., Candau, R., & Lacour, J. (1994). Fatigue and fitness modelled from the effects of training in performance. *Eur J Appl Physiol*, 69, 50-54.
- Busso, T., Carasso, C., & Lacour, J. (1991). Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance. *J Appl Physiol*, 71(5), 2044-2049.
- Busso, T., Denis, C., Bonnefoy, R., Geyssant, A., & Lacour, J. (1997). Modeling of adaptations to physical training by using a recursive least squares algorithm. *J Appl Physiol*, 61, 1685-1693.
- Busso, T., Hakkinen, K., Pakarinen, A., kauhanen, H., Komi, P., & Lacour, J. (1992). Hormonal adaptations and modelled responses in elite weightlifters during 6 weeks of training. *Eur J Appl Physiol*, 64, 381-386.
- Busso, T., & Thomas, L. (2006). Using Mathematical Modeling in Training Planning. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 400-405.
- Calvert, T., Banister, E., savage, M., & Bach, T. (1976). A systems model of the effects of training on physical performance. *IEE Trans Biomed Eng, SMC-6*, 94-102.
- Chalencon, S., Busso, T., Lacour, J., Garet, M., Pichot, V., Connes, P., . . . Barthélémy, J. (2012). A Model for the Training Effects in Swimming Demonstrates a Strong Relationship between Parasympathetic Activity, Performance and Index of Fatigue. *PLoS ONE*, 7(12). Retrieved from [www.plosone.org](http://www.plosone.org) website:
- Chen, M., Fan, X., & Moe, S. (2002). Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertation scale in healthy individuals: a meta-analysis. *J Sports Sci*, 20(11), 873-899.
- Clarke, D. C., & Skiba, P. F. (2013). Rationale and resources for teaching the mathematical modeling of athletic training and performance. *Advances in Physiology Education*, 37, 134-152.
- Costill, D., King, D., Thomas, R., & Hargreaves, M. (1985). Effects of reduced training on muscular power in swimmers. *Physician Sportsmed*, 13(2), 94-101.
- Coutts, A., Wallace, L., & Slaterry, K. (2007). Monitoring changes in performance, physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *Int J Sports Med*, 28, 125-134.
- Coyle, E. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev*, 23, 25-63.
- D'Acquisto, L., Bone, M., Takahashi, S., Langhans, G., Barzdukas, A., & Troup, J. (1992). Changes in aerobic power and swimming economy as a result of reduced training volume. *Swim Sci*, 201-205.
- Dash, R., Li, Y., Kim, J., Saidel, G., & Cabrera, M. (2008). Modelling cellular metabolism and energetics in skeletal muscle: large-scale parameter estimation and sensitivity analysis. *IEE Trans Biomed Eng*, 55, 1298-1318.
- Dressendorfer, R., Petersen, S., Lovshin, S., & Keen, C. (2002). Mineral metabolism in male cyclists during high-intensity endurance training. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 12, 63-72.
- Eliakim, A., Nemet, D., Bar-Sela, S., Higer, Y., & Falk, B. (2002). Changes in circulating IGF-I and their correlation with self-assessments and fitness among elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 23, 600-603.
- Fitz-Clarke, J., Morton, R., & Banister, E. (1991). Optimizing athletic performance by influence curves. *J Appl Physiol*, 71, 1151-1158.
- Flynn, M., Pizza, F., Boone, J., Andres, F., Michaud, T., & Rodriguez-Zayas, J. (1994). Indices of Training Stress During Competitive Running and Swimming Seasons. *Int J Sports Med*, 15, 21-26.
- Green, J., McLester, J., Crews, T., Wickwire, P., Pritechett, R., & Lomax, R. (2006). RPE association with lactate and heart rate during high-intensity interval cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 38(1), 167-172.



- Handel, P. V., Katz, A., Troup, J., Daniels, J., & Bradley, P. (1988). Oxygen consumption and blood lactic acid response to training and taper. *Swimming Science V*, 269-275.
- Harber, M., Gallagher, P., Creer, A., Minchev, K., & Trappe, S. (2004). Single muscle fiber contractile properties during a competitive season in male runners. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 287.
- Hayes, P., & Quinn, M. (2009). A mathematical model for quantifying training. *Eur J Appl Physiol*, 106, 839-847.
- Haykowsky, Smith, D., Malley, L., Norris, S., & Smith, E. (1998). Effects of short term altitude training and tapering on left ventricular morphology in elite swimmers. *The Canadian Journal of Cardiology* 14(5), 678-681.
- Hellard, P., Avalos, M., Hausswirth, C., Pyne, D., Toussaint, J., & Mujika, I. (2013). Identifying Optimal Overload and Taper in Elite Swimmers over Time. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 668-678.
- Hellard, P., Avalos, M., Lacoste, L., Barale, F., Chatard, J., & Millet, G. (2006). Assessing the limitations of the Banister model in monitoring training. *J Sports Sci*, 24(5), 509-520.
- Hellard, P., Avalos, M., Millet, G., Lacoste, L., Barale, F., & Chatard, J. (2005). Modeling the Residual Effects and Threshold Saturation of Training: A Case Study of Olympic Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 67-75.
- Hooper, S., Mackinnon, L., & Ginn, E. (1998). Effects of three tapering techniques on the performance, forces and psychometric measures of competitive swimmers. *Eur J appl Physiol*, 78, 258-263.
- Hooper, S., Mackinnon, L., & Howard, A. (1999). Physiological and psychometric variables for monitoring recovery during tapering for major competition. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 1205-1210.
- Hopkins, W. (1991). Quantification of training in competitive sports: Methods and applications. *Sports Medicine*, 12(3), 161-183.
- Houmard, J., Costill, D., Mitchell, J., Park, S., Hickner, R., & Roemmich, J. (1990). Reduced training maintains performance in distance runners. *Int J Sports Med*, 11(1), 46-52.
- Houmard, J., & Johns, R. (1994). Effects of taper on swim performance: practical implications. *Sports Medicine*, 17, 224-232.
- Houmard, J., Kirwan, J., Flynn, M., & Mitchell, J. (1989). Effects of reduced training on submaximal and maximal running responses. *Int J Sports Med*, 10(1), 30-33.
- Houmard, J., Scott, B., Justice, C., & Chenier, T. (1994). The effects of taper on performance in distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 26(5), 624-631.
- Issurin, V. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 40, 189-206.
- Jacobs, I. (1986). Blood lactate: implications for training and sports performance. *Sports Medicine*, 3(1), 10-25.
- Jeukendrup, A., & Diemen, A. V. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *J Sports Sci*, 16, 91-99.
- Jeukendrup, A., & Hesselink, M. (1994). Overtraining: what do lactate curves tell us? *British Journal of Sports Medicine*, 28, 239-240.
- Jeukendrup, A., Hesselink, M., Snyder, A., Kuipers, H., & Keizer, H. (1992). Physiological Changes in Male Competitive Cyclists after Two Weeks of Intensified Training. *Int J Sports Med*, 13(7), 534-541.
- Johns, R., Houmard, J., Kobe, R., Hortobágyi, T., Bruno, N., Wells, J., & Shinebarger, M. (1992). Effects of taper on swim power, stroke distance and performance. *Med Sci Sports Exerc*, 24, 1141-1146.
- Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities: practical application. *Sports Medicine*, 5(5), 303-311.

- Keenan, D., & Veldhuis, J. (2003). Cortisol feedback state governs adrenocorticotropin secretory-burst shape, frequency, and mass in a dual-wave form construct: time of day-dependent regulation. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 285, 950-961.
- Kenitzer, R. (1998). Optimal taper period in female swimmers. *J Swimming Research*, 13, 31-36.
- Kennedy, M., Tamminen, K., & Holt, N. (2012). Factors that influence fatigue status in Canadian university swimmers. *J Sports Sci*, 1-11.
- Kirwan, J., Costill, D., Flynn, M., Mitchell, J., Fink, W., Neufer, P., & Houmard, J. (1988). Physiological responses to successive days of intense training in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 20(3), 255-259.
- Kofranek, J., & Rusz, J. (2010). Restoration of Guyton's diagram for regulation of the circulation as a basis for quantitative physiological model of development. *Physiol Res*, 59, 897-908.
- Kreider, R., Fry, A., & O'Toole, M. (1998). Overtraining in Sport: Terms, Definitions, and Prevalence. In R. Kreider, A. Fry & M. O'Toole (Eds.), *Overtraining in Sport* (pp. vii - ix): Human Kinetics.
- Kushmerick, M. (2005). From crossbridges to metabolism: system biology for energetics. *Adv Exp Med Biol*, 565, 171-180 e 379-395.
- Lauffenburger, D., & Linderman, J. (1993). *Receptors: Models for Binding, Trafficking, and Signaling*. New York: Oxford Univ.
- LeMeur, Y., Hausswirth, C., & Mujika, I. (2012). Tapering for competition: A review. *Science & Sports*, 27, 77-87.
- Little, T., & Williams, A. (2007). Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *J Strength Cond Res.*, 21(2), 367-371.
- Maglischo, E. (1993). *Swimming Even Faster*: Mayfield Publishing Company.
- Maglischo, E. (2003). *Swimming Fastest - The essential reference on technique, training and program desing*: Human Kinetics.
- Makridakis, S., Wheelwright, S., & Hyndan, R. (1998). *Forecasting - Methods and Applications*. New York: John Wiley and Sons.
- Margaritis, I., Palazetti, S., & Rosseau, A. (2003). Ainti-oxidant supplementation and tapering exercise improve exercise-induced antioxidant response. *J Am Coll Nutr*, 22, 147-156.
- Martin, D., & Andersen, M. (2000). Heart rate perceived exertation relationship during training and taper. *J Sports Med Phys Fitness*, 40, 201-208.
- Martin, D., Andersen, M., & Gates, W. (2000). Using Profile of Mood States (POMS) to monitor high-intensity training in cyclists: group versus case studies. *Sport Psychol*, 14, 138-156.
- McCónell, G., Costili, D., Widrick, J., Hickey, M., Tanaka, H., & Gastin, P. (1993). Reduced training volume and intensity maintain aerobic capacity but not performance in distance runners. *Int J Sports Med*, 14, 33-37.
- McNair, D., Lorr, M., & Droppleman, L. (1971). *Profile of Mood States Manual*. San Diego: Educational and Industrial Testing Service.
- McNeely, E., & Sandler, D. (2007). Tapering for endurance athletes. *Strength Cond J*, 29, 18-24.
- Millet, G., Candau, R., Barbier, B., Busso, T., Rouillon, J., & Chatard, J. (2002). Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathletes. *Int J Sports Med*, 23, 55-63.
- Millet, G., Gros Lambert, A., Barbier, B., Rouillon, J., & Candau, R. (2005). Modelling the relationships between training anxiety, and fatigue in elite athletes. *Int J Sports Med*, 26, 492-498.

- Morgan, W., Brown, D., Raglin, J., O'Connor, P., & Ellickson, K. (1987). Psychological monitoring of overtraining and staleness. *British Journal of Sports Medicine*, 21, 107-114.
- Morin, S., Ahmaïdi, S., & Leprêtre, P. M. (2014). Modeling of training effects: Review of various studies. *Science & Sports*, in press.
- Morton, R. (1991). The quantitative periodization of athletic training: a model study. *Sports Med Train Rehab*, 3, 19-28.
- Morton, R. (1997). Modeling training and overtraining. *J Sports Sci*, 15, 335-340.
- Morton, R., Fitz-Clarke, J., & Banister, E. (1990). Modelling human performance in running. *J Appl Physiol*, 69, 1171-1177.
- Mujika, I. (1998). The influence of training characteristics and tapering on the adaptation in highly trained individuals: a review. *Int J Sports Med*, 19, 439-446.
- Mujika, I. (2003). *Taper: Optimizing Performance Without Falling Into Detraining* Paper presented at the IX World Biomechanics and medicine in Swimming, Saint Etienne.
- Mujika, I. (2009). *Tapering and Peaking for Optimal performance*. USA: Human Kinetics.
- Mujika, I., Busso, T., Lacoste, L., Barale, F., Geyssant, A., & Chatard, J. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Medecine & Science in Sports & Exercise*, 28(2), 251-258.
- Mujika, I., Chatard, J., Busso, T., Geyssant, A., Barale, F., & Lacoste, L. (1995). Effects of training on performance in competitive swimming. *Can. J. Appl Sport Sci*, 20, 395-406.
- Mujika, I., Goya, A., Ruiz, E., Grijalba, A., Santisteban, J., & Padilla, S. (2000). Physiological and Performance Responses to a 6-Day Taper in Middle-Distance Runners: Influence of Training Frequency. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 511-517.
- Mujika, I., Goya, A., Ruiz, E., Grijalba, A., Santisteban, J., & Padilla, S. (2002). Physiological and Performance Responses to a 6-Day Taper in Middle-Distance Runners: Influence of Training Frequency. *Int J Sports Med*, 23, 367-373.
- Mujika, I., & Padilla, S. (2000a). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I. Short-term insufficient training stimulus. *Sports Medicine*, 30, 79-87.
- Mujika, I., & Padilla, S. (2003). Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 1182-1187.
- Mujika, I., Padilla, S., Pyne, D., & Busso, T. (2004). Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Medicine*, 34(13), 891-927.
- Neary, J., Bhambhani, Y., & McKenzie, D. (2003). Effects of different stepwise reduction taper protocols on cycling performance. *Can J Appl Physiol*, 28, 576-587.
- Neary, J., Martin, T., & Quinney, H. (2003). Effects of taper on endurance cycling capacity and single muscle fiber properties. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 1875-1881.
- Neary, J., McKenzie, D., & Bhambhani, Y. (2005). Muscle oxygenation trends after tapering in trained cyclists. *Dyn Med*, 4(4).
- Noble, B., & Robertson, R. (1996). *Perceived Exertion*: Human Kinetics.
- Ozkan, A., & Kin-Isler, A. (2007). The reliability and validity of regulating exercise intensity by ratings of perceived exertation in step dance sessions. *J Strength Cond Res*, 21(1), 296-300.
- Pankratz, A. (1991). *Forecasting with Dynamic Regression Models*. New York: John Wiley.
- Papoti, M., Martins, L., Cunha, S., Zagatto, A., & Gobatto, C. (2007). Effects of taper in swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. *J Strength Cond Res*, 21, 538-542.
- Pyne, B., Lee, H., & Swanwick, K. (2001). Monitoring the Lactate threshold in world- ranked swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 32(3), 291-297.
- Pyne, D., Mujika, I., & Reilly, T. (2009). Peaking for optimal performance: research limitations and future directions. *J Sports Sci*, 27, 195-202.

- Raglin, J., Koceja, D., & Stager, J. (1996). Mood, neuromuscular function, and performance during training in female swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 28, 372-377.
- Raglin, J., Morgan, W., & O'Connor, P. (1991). Changes in mood states during training in female and male college swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 12, 585-589.
- Rietjens, G., Keizer, H., Kuipers, H., & Saris, W. (2001). A reduction in training volume and intensity for 21 days does not impair performance in cyclists. *Br J Sports Med*, 35(6), 431-434.
- Robinson, D., Robinson, S., & P.Hume. (1991). Training intensity of elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 23(9), 1078-1082.
- Sanchez, A., Galbés, O., Fabre-Guery, F., Thomas, L., Douillard, A., Py, G., . . . Candau, R. (2013). Modelling training response in elite female gymnasts and optimal strategies of overload training and taper. *J Sports Sci*, 31(14), 510-519.
- Shephard, R. (2003). Limits to the measurement of habitual physical activity by questionnaires. *Br J Sports Med*, 37(3), 197-206.
- Shepley, B., MacDougall, J., Cipriano, N., Sutton, J., Tarnopolsky, M., & Coates, G. (1992). Physiological effects of tapering in highly trained athletes. *J Appl Physiol*, 72, 706-711.
- Skiba, P. (2008). *The Triathlete's Guide to training with Power*. Chicago: PhysFarm.
- Skinner, J., Wilmore, K., Krasnoff, J., Jaskóski, A., Jakólska, A., Gagnon, J., . . . Bouchard, C. (2000). Adaptation to a standardized training program and changes in fitness in a large, heterogeneous population: the heritage family study. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 157-161.
- Smith, H. (2000). Ergometer sprint performance and recovery with variations in training load in elite rowers. *Int J Sports Med*, 21, 573-578.
- Snyder, A., Jeukendrup, A., Hesselink, A., Kuipers, M., & Foster, C. (1993). A physiological/psychological indicator of overreaching during intensive training. *International Journal of Sports Medicine*, 14, 29-32.
- Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med*, 2(3), 257-263.
- Steinnacker, J., Lormes, W., Kellmann, M., Reibnecker, S., Optiz-Gress, A., Baller, B., . . . Altenburg, D. (2000). Training of junior rowers before world championships. Effects on performance, mood state and selected hormonal and metabolic responses. *J Sports Med Phys Fitness*, 40, 327-335.
- Stone, M., Josey, J., & Hunter, G. (1996). *Different taper lengths: effects on weightlifting performance*. Paper presented at the Overtraining and Overreaching in Sport International Conference, Tennessee.
- Swanson, G. (1990). Assembling control models from pulmonary gas exchange dynamics. *Med Sci Sports Exerc*, 22(1), 80-87.
- Swart, J., & Jennings, C. (2004). Use of blood lactate concentrations as a marker of training status. *S Afr J sports Med*, 16, 3-7.
- Taha, T., & Thomas, S. G. (2003). Systems Modelling of the Relationship Between Training and Performance. *Sports Medicine*, 33(14), 1061-1073.
- Taylor, S., Rogers, G., & Driver, H. (1997). Effects of training volume on sleep, psychological, and selected physiological profiles of elite female swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 29, 688-693.
- Thomas, L., & Busso, T. (2005). A theoretical study of taper characteristics to optimise performance. *Med Sci Sports Exerc*, 37, 1615-1621.
- Thomas, L., Mujika, I., & Busso, T. (2008). A model study of optimal training reduction during pre-event. *J Sports Sci*, 26, 643-652.

- Thomas, L., Mujika, I., & Busso, T. (2009). Computer simulations assessing the potential performance benefit of a final increase in training during pre-event taper. *J Strength Cond Res* 23(6), 1729-1736.
- Toubekis, A., Drosou, E., Gourgoulis, V., Thomaidis, S., Douda, H., & S.Tokmakidis. (2013). Competitive Performance, Training Load and Physiological Responses During Tapering in Young Swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 38, 125-134.
- Urhausen, A., Gabriel, H., Weiler, B., & kindermann, W. (1998). Ergometric and Psychological Findings During Overtraining: A Long- Term Follow- Up Study in Endurance Athletes. *Int J Sports Med*, 19, 114-120.
- Verchoschanskii, J. (1992). *L'entraînement efficace*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Wagner, P. (2011). Modeling O<sub>2</sub> transport as an integrated system limiting VO<sub>2max</sub>. *Comput Methods Programs Biomed*, 101, 109-114.
- Wallace, L., Slattery, K., & Coutts, A. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *Eur J Appl Physiol*, 114, 11-20.
- Walsh, M. (2000). Whole body fatigue and critical power: a physiological interpretation. *Sports Medicine*, 29, 153-166.
- Weltman, A. (1995). *The Blood Lactate response to exercise*: Human Kinetics.
- Weltman, A., Seip, R., Snead, D., Weltman, J., Haskvitz, E., Evans, W., . . . Rogol, A. (1992). Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *Int J Sports Med*, 13(3), 257-263.
- Yamamoto, Y., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1998). Hematological and biochemical indices during the tapering period of competitive swimmers *Swimming Science V* (pp. 269-275). Champaign: Human Kinetics.
- Yates, F. (2003). On the maturation of mathematical modeling of endocrine systems. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 285, 932-940.
- Zarcadas, P., Carter, J., & Banister, E. (1995). Modelling the effect of taper on performance, maximal oxygen uptake, and the anaerobic threshold in endurance triathletes. *Adv Exp Med Biol*, 393, 179-186.



## Apêndice A

- Equação do modelo de Banister

O efeito de adaptação é modelado por uma equação diferencial da forma

$$\frac{dT(t)}{dt} = k_1 (w(t) - T(t))$$

onde  $T(t)$  representa a adaptação no instante  $t$ ,  $k_1$  é uma constante multiplicativa e  $w(t)$  é uma medida da quantidade e intensidade do treino realizado no instante  $t$ . Esta equação escrita na forma canónica é dada por

$$\frac{dT(t)}{dt} + k_1 T(t) = k_1 w(t)$$

Trata-se portanto de uma equação diferencial de primeira ordem e, assumindo que  $T(0) = 0$ , a solução geral da equação é

$$T(t) = e^{-A(t)} \int_0^t k_1 w(u) e^{A(u)} du$$

em que

$$A(t) = \int_0^t k_1 du = k_1 t$$

logo

$$T(t) = e^{-k_1 t} \int_0^t k_1 w(u) e^{k_1 u} du = k_1 \int_0^t w(u) e^{-k_1(t-u)} du$$

Para que esta equação possa ser utilizada na prática, é necessário expressar o integral como uma soma, isto é

$$T(t) = k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-k_1(t-i)} \Delta t = k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-k_1(t-i)}$$

se  $\Delta t = 1$  e  $i$  é o  $i$ -ésimo instante antes de  $t$ .

- Forma recursiva do modelo de Banister

Designando  $g(t)$  por

$$g(t) = k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1}$$

tem-se

$$g(1) = 0$$

$$g(2) = k_1 w(1) e^{-1/\tau_1} = (g(1) + k_1 w(1)) e^{-1/\tau_1}$$

$$\begin{aligned} g(3) &= k_1 \sum_{i=1}^2 w(i) e^{-(3-i)/\tau_1} = k_1 (w(1) e^{-2/\tau_1} + w(2) e^{-1/\tau_1}) \\ &= (k_1 w(1) e^{-1/\tau_1} + k_1 w(2)) e^{-1/\tau_1} \\ &= (g(2) + k_1 w(2)) e^{-1/\tau_1} \end{aligned}$$

e, portanto,  $g(t)$  pode ser obtido de forma recursiva,

$$\begin{aligned} g(t) &= k_1 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1} = k_1 \left( \sum_{i=1}^{t-2} w(i) e^{-(t-i)/\tau_1} + w(t-1) e^{-1/\tau_1} \right) \\ &= \left( k_1 \sum_{i=1}^{t-2} w(i) e^{-(t-1-i)/\tau_1} + k_1 w(t-1) \right) e^{-1/\tau_1} \\ &= (g(t-1) + k_1 w(t-1)) e^{-1/\tau_1} \end{aligned}$$

Do mesmo modo, designando

$$h(t) = k_2 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_2}$$

se obtém

$$h(t) = k_2 \sum_{i=1}^{t-1} w(i) e^{-(t-i)/\tau_2} = (h(t-1) + k_2 w(t-1)) e^{-1/\tau_2}$$



- Forma recursiva do modelo de Busso

Designando  $h(t)$  por

$$h(t) = \sum_{i=1}^{t-1} k_2(i)w(i)e^{-(t-i)/\tau_2}$$

Assim,

$$h(1) = 0$$

$$k_2(1) = k_3w(1)$$

$$h(2) = k_2(1)w(1)e^{-1/\tau_2} = (h(1) + k_2(1)w(1))e^{-1/\tau_2}$$

$$k_2(2) = k_3(w(1)e^{-1/\tau_3} + w(2)) = k_2(1)e^{-1/\tau_3} + k_3w(2)$$

$$\begin{aligned} h(3) &= \sum_{i=1}^2 k_2(i)w(i)e^{-(3-i)/\tau_2} = k_2(1)w(1)e^{-2/\tau_2} + k_2(2)w(2)e^{-1/\tau_2} \\ &= (k_2(1)w(1)e^{-1/\tau_2} + k_2(2)w(2))e^{-1/\tau_2} \\ &= (h(2) + k_2(2)w(2))e^{-1/\tau_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_2(3) &= k_3(w(1)e^{-2/\tau_3} + w(2)e^{-1/\tau_3} + w(3)) \\ &= k_3(w(1)e^{-1/\tau_3} + w(2))e^{-1/\tau_3} + k_3w(3) \\ &= k_2(2)e^{-1/\tau_3} + k_3w(3) \end{aligned}$$

e, portanto, a forma recursiva para  $h(t)$  e  $k_2(t-1)$  é dada por

$$k_2(t-1) = k_2(t-2)e^{-1/\tau_3} + k_3w(t-1)$$

$$h(t) = (h(t-1) + k_2(t-1)w(t-1))e^{-1/\tau_2}$$

- Forma recursiva do modelo de Hellard

Designando  $g(t)$  por

$$g(t) = k_1 \sum_{i=1}^{t-1} \frac{w(i)^\gamma}{\delta^\gamma + w(i)^\gamma} e^{-(t-i)/\tau_1}$$

deduz-se de forma análoga às anteriores

$$g(1) = 0$$

$$g(2) = k_1 \frac{w(1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(1)^\gamma} e^{-1/\tau_1} = \left( g(1) + k_1 \frac{w(1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(1)^\gamma} \right) e^{-1/\tau_1}$$

$$\begin{aligned} g(3) &= k_1 \frac{w(1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(1)^\gamma} e^{-2/\tau_1} + k_1 \frac{w(2)^\gamma}{\delta^\gamma + w(2)^\gamma} e^{-1/\tau_1} \\ &= \left( k_1 \frac{w(1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(1)^\gamma} e^{-1/\tau_1} + k_1 \frac{w(2)^\gamma}{\delta^\gamma + w(2)^\gamma} \right) e^{-1/\tau_1} \\ &= \left( g(2) + k_1 \frac{w(2)^\gamma}{\delta^\gamma + w(2)^\gamma} \right) e^{-1/\tau_1} \end{aligned}$$

logo,

$$\begin{aligned} g(t) &= k_1 \sum_{i=1}^{t-1} \frac{w(i)^\gamma}{\delta^\gamma + w(i)^\gamma} e^{-(t-i)/\tau_1} \\ &= k_1 \left( \sum_{i=1}^{t-2} \frac{w(i)^\gamma}{\delta^\gamma + w(i)^\gamma} e^{-(t-i)/\tau_1} + \frac{w(t-1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(t-1)^\gamma} e^{-1/\tau_1} \right) \\ &= \left( k_1 \sum_{i=1}^{t-2} \frac{w(i)^\gamma}{\delta^\gamma + w(i)^\gamma} e^{-(t-1-i)/\tau_1} + k_1 \frac{w(t-1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(t-1)^\gamma} \right) e^{-1/\tau_1} \\ &= \left( g(t-1) + k_1 \frac{w(t-1)^\gamma}{\delta^\gamma + w(t-1)^\gamma} \right) e^{-1/\tau_1} \end{aligned}$$

## Apêndice B

- Rotina estimar

```
% Procedimento para obter ESTIMATIVAS de parâmetros
% de acordo com os modelos:
% 1. Banister
% 2. Busso
% 3. Hellard
% 4. Banister com intervenções
%
% Indicar MODELO
% O utilizador deve indicar a opção pretendida (1, 2, 3 ou 4)
% através da inicialização da variável MODELO
% (por defeito, MODELO = 1 - seleciona o modelo de Banister)
%
% Indicar EPOCA2
% O utilizador deve indicar se o período em análise
% se refere a uma ou duas épocas
% (indicar 1, se o período se refere a apenas uma época
% ou a semana em que se inicia a 2ª época, se o período se refere a duas,
% por defeito, EPOCA2 = 1)
%
% Indicar ESTIMATIVAS INICIAIS para os parâmetros
% O utilizador deve disponibilizar as estimativas iniciais (vetor beta0),
% bem como, as restrições para os parâmetros (vetores lb e ub - limites
% inferiores e superiores, respetivamente)
% Ordem dos parâmetros:
% 1. modelo de Banister (p0, k1, k2, tau1, tau2)
%     por defeito beta0 = [93 0.05 0.05 45/7 15/7];
%         lb = [90 0 0 30/7 1/7];
%         ub = [100 1 1 60/7 20/7];
% 2. modelo de Busso (p0, k1, k3, tau1, tau2, tau3)
%     por defeito beta0 = [93 0.05 0.05 45/7 15/7 3/7];
%         lb = [90 0 0 30/7 1/7 0];
%         ub = [100 1 1 60/7 20/7 1];
% 3. modelo de Hellard (p0, k1, k2, tau1, tau2, gama, delta)
%     por defeito beta0 = [93 0.05 0.05 45/7 15/7 2.5 3];
%         lb = [90 0 0 30/7 1/7 0 0];
%         ub = [100 1 1 60/7 20/7 10 10];
% 4. modelo de Banister com intervenções (p0, k1, k2, tau1, tau2, omega,
teta)
%     por defeito beta0 = [93 0.05 0.05 45/7 15/7 -1 0];
%         lb = [90 0 0 30/7 1/7 -5 -1];
%         ub = [100 1 1 60/7 20/7 5 1];
%
% Indicar o ficheiro de INPUT
% O utilizador deve indicar o ficheiro de dados (onde são fornecidos
% os vetores W - training load e y - performance)
%
% Nesta rotina, utiliza-se as funções:
% organizar, IR_Banister, IR_Busso, IR_Hellard, IR_Banister_interv
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% INICIALIZAÇÕES
clear;
INPUT = load('Exemplo20112012.txt');
MODELO = 1;
EPOCA2 = 53;
if MODELO == 1
    beta0 = [93 0.05 0.05 45/7 15/7];
```

```

        lb = [90 0 0 30/7 1/7];
        ub = [100 1 1 60/7 20/7];
    end
    if MODELO == 2
        beta0 = [93 0.05 0.05 45/7 15/7 3/7];
        lb = [90 0 0 30/7 1/7 0];
        ub = [100 1 1 60/7 20/7 1];
    end
    if MODELO == 3
        beta0 = [93 0.05 0.05 45/7 15/7 0.001 150];
        lb = [90 0 0 30/7 1/7 0 0];
        ub = [100 inf inf 60/7 20/7 inf inf];
    end
    if MODELO == 4
        beta0 = [93 0.05 0.05 45/7 15/7 -1 0];
        lb = [90 0 0 30/7 1/7 -5 -inf];
        ub = [100 1 1 60/7 20/7 5 inf];
    end
    % FIM de INICIALIZAÇÕES
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    % Verificação de inicializações
    if (MODELO == 4 && EPOCA2 == 1)
        error ('O modelo de Banister com intervenções só pode ser usado, caso se considere mais do que uma época')
    end

    % Obtenção dos vetores W (training load) e y (real performance)
    W = INPUT(:,1);
    nW = length(W);           % n° de semanas
    y = INPUT(:,2);
    organizar(y);
    y = load('desempenho.txt');
    ny = length(y);           % n° de provas realizadas

    % Otimização dos parâmetros
    if MODELO == 1
        options = optimoptions(@lsqcurvefit,'MaxIter',4000,'MaxFunEvals',10000);
        [betahat,resnorm,residual] =
        lsqcurvefit(@IR_Banister,beta0,W,y,lb,ub,options);
    end
    if MODELO == 2
        options = optimoptions(@lsqcurvefit,'MaxIter',4000,'MaxFunEvals',10000);
        [betahat,resnorm,residual] =
        lsqcurvefit(@IR_Busso,beta0,W,y,lb,ub,options);
    end
    if MODELO == 3
        options = optimoptions(@lsqcurvefit,'MaxIter',4000,'MaxFunEvals',10000);
        [betahat,resnorm,residual] =
        lsqcurvefit(@IR_Hellard,beta0,W,y,lb,ub,options);
    end
    if MODELO == 4
        options = optimoptions(@lsqcurvefit,'MaxIter',4000,'MaxFunEvals',10000);
        [betahat,resnorm,residual] =
        lsqcurvefit(@IR_Banister_interv,beta0,W,y,lb,ub,options);
    end

    % Medidas da qualidade do ajustamento
    ymean = mean(y);
    ST = (y-ymean).*(y-ymean);
    SST = sum(ST);
    r2 = 1-resnorm/SST;
    AIC = ny*(1+log(2*pi))+ny*log(resnorm/(ny-length(beta0)))+2*length(beta0);

```

```

% Obtenção dos vetores g (efeitos positivos), h (efeitos negativos)
% e y (estimated performance) para todas as semanas
C = betahat(1);
k1 = betahat(2);
k2 = betahat(3);
tau1 = betahat(4);
tau2 = betahat(5);
g(1) = 0;
h(1) = 0;
yhat(1) = C;
if MODELO == 1
    for k=2:nW
        g(k) = (g(k-1)+k1.*W(k-1)).*exp(-1/tau1);
        h(k) = (h(k-1)+k2.*W(k-1)).*exp(-1/tau2);
        yhat(k) = C + g(k) - h(k);
    end
end
if MODELO == 2
    k3 = betahat(3);
    tau3 = betahat(6);
    k2(1) = k3.*W(1);
    for k=2:nW-1
        g(k) = (g(k-1)+k1.*W(k-1)).*exp(-1/tau1);
        h(k) = (h(k-1)+k2(k-1).*W(k-1)).*exp(-1/tau2);
        k2(k) = k2(k-1).*exp(-1/tau3)+k3*W(k);
        yhat(k) = C + g(k) - h(k);
    end
    g(nW) = (g(nW-1)+k1.*W(nW-1)).*exp(-1/tau1);
    h(nW) = (h(nW-1)+k2(nW-1).*W(nW-1)).*exp(-1/tau2);
    yhat(nW) = C + g(nW) - h(nW);
    k2 = k3; % para calcular tn e tg (expressão geral para os 4 modelos)
end
if MODELO == 3
    gama = betahat(6);
    delta = betahat(7);
    for k=2:nW
        g(k) = (g(k-1)+k1.*(W(k-1).^gama)/(delta.^gama+W(k-1).^gama)).*exp(-1/tau1);
        h(k) = (h(k-1)+k2.*(W(k-1).^gama)/(delta.^gama+W(k-1).^gama)).*exp(-1/tau2);
        yhat(k) = C + g(k) - h(k);
    end
end
if MODELO == 4
    omega = betahat(6);
    teta = betahat(7);
    for k=2:nW
        g(k) = (g(k-1)+k1.*W(k-1)).*exp(-1/tau1);
        h(k) = (h(k-1)+k2.*W(k-1)).*exp(-1/tau2);
        yhat(k) = C + g(k) - h(k);
    end
    yhat(EPOCA2) = yhat(EPOCA2) + omega;
    for k=EPOCA2+1:nW
        yhat(k) = yhat(k) + omega + teta;
    end
end

% Obtenção do OUTPUT
tau1=betahat(4)*7;
tau2=betahat(5)*7; % conversão para dias
tn = (tau1*tau2/(tau1-tau2))*log(k2/k1);
tg = (tau1*tau2/(tau1-tau2))*log(k2*tau1/(k1*tau2));
OUTPUT(4,12) = 0;
if MODELO == 1
    OUTPUT(1,1:5) = beta0;
    OUTPUT(2,1:5) = lb;

```

```

        OUTPUT(3,1:5) = ub;
        OUTPUT(4,1:5) = betahat;
    end
    if MODELO == 2
        OUTPUT(1,1:6) = beta0;
        OUTPUT(2,1:6) = lb;
        OUTPUT(3,1:6) = ub;
        OUTPUT(4,1:6) = betahat;
    end
    if MODELO >= 3
        OUTPUT(1,1:7) = beta0;
        OUTPUT(2,1:7) = lb;
        OUTPUT(3,1:7) = ub;
        OUTPUT(4,1:7) = betahat;
    end
    OUTPUT(4,9:10) = [r2,AIC];
    OUTPUT(4,11:12) = [tn,tg];
    save output.txt OUTPUT -ASCII;

% Representações gráficas
figure(1);
subplot(3,4,1:3);
ph1 = stairs(1:nW,W,'k','LineWidth',1.5),ylabel({'carga de
treino';'(UAC)'});
subplot(3,4,5:7);
ph2 = plot(1:nW,g,'k',1:nW,h,':k','LineWidth',1.5),ylabel({'outputs do
modelo';'(UAC)'});
if EPOCA2 > 1
    line([EPOCA2,EPOCA2],ylim,'Color','k','LineStyle','-','LineWidth',1);
end
sh = subplot(3,4,8);
p = get(sh,'position');
lh = legend(sh,[ph2],'PTE','NTE');
set(lh,'position',p);
axis(sh,'off');
subplot(3,4,9:11);
ph3 =
plot(1:nW,INPUT(:,2),'ko',1:nW,yhat,'k','MarkerSize',3,'MarkerFaceColor','k',
'LineWidth',1.5),ylabel({'performance';'(%)'});
if EPOCA2 > 1
    line([EPOCA2,EPOCA2],ylim,'Color','k','LineStyle','-','LineWidth',1);
end
sh = subplot(3,4,12);
p = get(sh,'position');
lh = legend(sh,[ph3],'real','estimado');
set(lh,'position',p);
axis(sh,'off');
```

## • Rotina avaliar

```
% Procedimento para fazer DIAGNÓSTICO de ajustamento
% (comparar valores reais obtidos na 2ª época
% com valores preditos tendo em conta parâmetros estimados na 1ª época)
%
% NOTA: Antes de executar este procedimento é necessário
% correr o procedimento ESTIMAR com a informação da 1ª época
% (para se obter as estimativas para os parâmetros)
%
% Indicar o ficheiro de INPUT
% O utilizador deve indicar o ficheiro de dados (onde são fornecidos
% os vetores W - training load e y - performance relativos à 2ª época)
%
% Nesta rotina, utiliza-se as funções:
% organizar, IR_Banister, IR_Busso, IR_Hellard
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% INICIALIZAÇÕES
INPUTep2 = load('Exemplo20122013.txt');

% Verificação de inicializações
if (MODELO == 4)
    error('O modelo de Banister com intervenções só pode ser usado, caso se
    considere mais do que uma época para o período de estimação')
end

% Obtenção dos vetores W (training load) e y (real performance)
Wep2 = INPUTep2(:,1);
nWep2 = length(Wep2);           % n° de semanas
yep2 = INPUTep2(:,2);
organizar(yep2);
yep2 = load('desempenho.txt');
nyep2 = length(yep2);           % n° de provas realizadas

% Obtenção de valores preditos para 2ª época
if MODELO == 1
    yhat2 = IR_Banister(betahat,Wep2);
end
if MODELO == 2
    yhat2 = IR_Busso(betahat,Wep2);
end
if MODELO == 3
    yhat2 = IR_Hellard(betahat,Wep2);
end

% Medidas da qualidade do ajustamento
erro = yep2-yhat2
erro2 = erro.^2;
MSE = sum(erro2)/(nyep2-length(betahat));
num = 0;
den = 0;
for k=1:nyep2-1
    num = num + ((yhat2(k+1)-yep2(k+1))/yep2(k)).^2;
    den = den + ((yep2(k)-yep2(k+1))/yep2(k)).^2;
end
Ustat = (num/den).^0.5;
OUTPUTep2(1,1:2) = [MSE,Ustat];

% Obtenção dos vetores gep2 (efeitos positivos para a 2ª época),
% hep2 (efeitos negativos para a 2ª época)
```

```

% e yhatp2 (estimated performance para a 2ª época)
C = betahat(1);
k1 = betahat(2);
k2 = betahat(3);
tau1 = betahat(4);
tau2 = betahat(5);
gep2(1) = 0;
hep2(1) = 0;
yhatep2(1) = C;
if MODELO == 1
    for k=2:nWep2
        gep2(k) = (gep2(k-1)+k1.*Wep2(k-1)).*exp(-1/tau1);
        hep2(k) = (hep2(k-1)+k2.*Wep2(k-1)).*exp(-1/tau2);
        yhatep2(k) = C + gep2(k) - hep2(k);
    end
end
if MODELO == 2
    k3 = betahat(3);
    tau3 = betahat(6);
    k2ep2(1) = k3.*Wep2(1);
    for k=2:nWep2-1
        gep2(k) = (gep2(k-1)+k1.*Wep2(k-1)).*exp(-1/tau1);
        hep2(k) = (hep2(k-1)+k2ep2(k-1).*Wep2(k-1)).*exp(-1/tau2);
        k2ep2(k) = k2ep2(k-1).*exp(-1/tau3)+k3*Wep2(k);
        yhatep2(k) = C + gep2(k) - hep2(k);
    end
    gep2(nWep2) = (gep2(nWep2-1)+k1.*Wep2(nWep2-1)).*exp(-1/tau1);
    hep2(nWep2) = (hep2(nWep2-1)+k2ep2(nWep2-1).*Wep2(nWep2-1)).*exp(-1/tau2);
    yhatep2(nWep2) = C + gep2(nWep2) - hep2(nWep2);
end
if MODELO == 3
    gama = betahat(6);
    delta = betahat(7);
    for k=2:nWep2
        gep2(k) = (gep2(k-1)+k1.*(Wep2(k-1).^gama)/(delta.^gama+Wep2(k-1).^gama)).*exp(-1/tau1);
        hep2(k) = (hep2(k-1)+k2.*(Wep2(k-1).^gama)/(delta.^gama+Wep2(k-1).^gama)).*exp(-1/tau2);
        yhatep2(k) = C + gep2(k) - hep2(k);
    end
end

% Representações gráficas
figure(2);
subplot(3,4,1:3);
ph1 = stairs(1:nWep2,Wep2,'k','LineWidth',1.5),ylabel({'carga de treino';'(UAC)'});
subplot(3,4,5:7);
ph2 = plot(1:nWep2,INPUTep2(:,2),'ko',1:nWep2,yhatep2,'k','MarkerSize',3,'MarkerFaceColor','k','LineWidth',1.5),ylabel({'performance';' (%)'});
sh = subplot(3,4,8);
p = get(sh,'position');
lh = legend(sh,[ph2],'real','estimado');
set(lh,'position',p);
axis(sh,'off');
subplot(3,4,9:11);
I=load('indice.txt');
x = (1:nWep2);
o = zeros(1,nWep2);
ph3 = plot(I,erro,'ko',x,o,'k-','MarkerSize',3,'MarkerFaceColor','k'),ylim([-10,10]),ylabel({'resíduos';' (%)'});

```



## • Rotina simular

```
% Procedimento para obter PLANEAMENTO de próxima época
%
% NOTA: Antes de executar este procedimento é necessário
% correr o procedimento ESTIMAR
% (para se obter as estimativas para os parâmetros)
%
% Indicar o ficheiro com PLANO
% O utilizador deve indicar o ficheiro de dados (onde é fornecido
% o planeamento que contém 4 hipótese de training load para a próxima época)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% INICIALIZAÇÕES
PLANO = load('plano20132014.txt');

% Obtenção dos vetores Wep3 (training load para a próxima época)
Wep3 = PLANO(:,2:4);
nWep3 = length(Wep3);          % n° de semanas para a próxima época

% Obtenção dos vetores gep3 (efeitos positivos para a próxima época),
% hep3 (efeitos negativos para a próxima época)
% e yhat3 (estimated performance para a próxima época)
C = betahat(1);
k1 = betahat(2);
k2 = betahat(3);
tau1 = betahat(4);
tau2 = betahat(5);
gep3(1,1:3) = 0;
hep3(1,1:3) = 0;
yhat3(1,1:3) = C;
if MODELO == 1
    for k=2:nWep3
        gep3(k,1:3) = (gep3(k-1,1:3)+k1.*Wep3(k-1,1:3)).*exp(-1/tau1);
        hep3(k,1:3) = (hep3(k-1,1:3)+k2.*Wep3(k-1,1:3)).*exp(-1/tau2);
        yhat3(k,1:3) = C + gep3(k,1:3) - hep3(k,1:3);
    end
end
if MODELO == 2
    k3 = betahat(3);
    tau3 = betahat(6);
    k2ep3(1,1:3) = k3.*Wep3(1,1:3);
    for k=2:nWep3-1
        gep3(k,1:3) = (gep3(k-1,1:3)+k1.*Wep3(k-1,1:3)).*exp(-1/tau1);
        hep3(k,1:3) = (hep3(k-1,1:3)+k2ep3(k-1,1:3).*Wep3(k-1,1:3)).*exp(-1/tau2);
        k2ep3(k,1:3) = k2ep3(k-1,1:3).*exp(-1/tau3)+k3.*Wep3(k,1:3);
        yhat3(k,1:3) = C + gep3(k,1:3) - hep3(k,1:3);
    end
    gep3(nWep3,1:3) = (gep3(nWep3-1,1:3)+k1.*Wep3(nWep3-1,1:3)).*exp(-1/tau1);
    hep3(nWep3,1:3) = (hep3(nWep3-1,1:3)+k2ep3(nWep3-1,1:3).*Wep3(nWep3-1,1:3)).*exp(-1/tau2);
    yhat3(nWep3,1:3) = C + gep3(nWep3,1:3) - hep3(nWep3,1:3);
end
if MODELO == 3
    gama = betahat(6);
    delta = betahat(7);
    for k=2:nWep3
        gep3(k,1:3) = (gep3(k-1,1:3)+k1.*(Wep3(k-1,1:3).^gama)./(delta.^gama+Wep3(k-1,1:3).^gama)).*exp(-1/tau1);
        hep3(k,1:3) = (hep3(k-1,1:3)+k2.*(Wep3(k-1,1:3).^gama)./(delta.^gama+Wep3(k-1,1:3).^gama)).*exp(-1/tau2);
        yhat3(k,1:3) = C + gep3(k,1:3) - hep3(k,1:3);
    end
end
```

```

        end
    end
    if MODELO == 4
        omega = betahat(6);
        teta = betahat(7);
        yhat3(1,1:3) = yhat3(1,1:3) + omega;
        for k=2:nWep3
            gep3(k,1:3) = (gep3(k-1,1:3)+k1.*Wep3(k-1,1:3)).*exp(-1/tau1);
            hep3(k,1:3) = (hep3(k-1,1:3)+k2.*Wep3(k-1,1:3)).*exp(-1/tau2);
            yhat3(k,1:3) = C + gep3(k,1:3) - hep3(k,1:3) + omega + teta;
        end
    end
    end
    PROVAS = [16,yhat3(17,1:3);30,yhat3(31,1:3);46,yhat3(47,1:3)];

% Representações gráficas
figure(3);
subplot(3,4,1:3);
ph1 =
plot(1:nWep3,gep3(:,1),'k',1:nWep3,hep3(:,1),'k','LineWidth',1.5),title('ou
tputs do modelo (UAC)'),text(-7,15,'A');
subplot(3,4,5:7);
ph2 =
plot(1:nWep3,gep3(:,2),'k',1:nWep3,hep3(:,2),'k','LineWidth',1.5),text(-
7,15,'B');
subplot(3,4,9:11);
ph3 =
plot(1:nWep3,gep3(:,3),'k',1:nWep3,hep3(:,3),'k','LineWidth',1.5),text(-
7,15,'C');
sh = subplot(3,4,12);
p = get(sh,'position');
lh = legend(sh,[ph3],'PTE','NTE');
set(lh,'position',p);
axis(sh,'off');

figure(4);
subplot(3,4,1:3);
plot(1:nWep3,yhat3(:,1),'k','LineWidth',1.5),title('performance (%)');
subplot(3,4,5:7);
plot(1:nWep3,yhat3(:,2),'k','LineWidth',1.5);
subplot(3,4,9:11);
plot(1:nWep3,yhat3(:,3),'k','LineWidth',1.5);

```

- Função organizar

```
function organizar(y)

% constroi dois vetores a partir do vetor y (desempenho):
% o vetor indice com as semanas de competição
% e o vetor desempenho com os respectivos desempenhos
% cada um destes vetores é guardado num ficheiro de texto
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

n=length(y);
TF=isnan(y);
i=1;
for k=1:n;
    if TF(k)==0
        indice(i)=k;
        desempenho(i)=y(k);
        i=i+1;
    end
end
indice=indice';
desempenho=desempenho';
save indice.txt indice -ASCII;
save desempenho.txt desempenho -ASCII;
end
```

- Função IR\_Banister

```
function yhat = IR_Banister(betap,W)

% Modelo de resposta a impulsos (IR) para indicadores de fadiga e adaptação
% de acordo com o modelo de Banister
%
% yhat = IR_Banister(betap,W)
% fornece os valores preditos para a performance (yhat)
% como função do vetor de parâmetros (betap, que deve ter 5 componentes)
% e da matriz relativa a cargas de treino (W)
%
% A forma do modelo é:
%  $y = C + g(n) - h(n)$ 
% onde
%  $g(1) = 0$ 
%  $g(n) = (g(n-1) + k_1 * W(n-1)) * \exp(-1/\tau_1)$ 
%  $h(1) = 0$ 
%  $h(n) = (h(n-1) + k_2 * W(n-1)) * \exp(-1/\tau_2)$ 
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

C = betap(1);
k1 = betap(2);
k2 = betap(3);
tau1 = betap(4);
tau2 = betap(5);

nW = length(W);
g(1) = 0;
h(1) = 0;
for k=2:nW
    g(k) = (g(k-1) + k1.*W(k-1)).*exp(-1/tau1);
    h(k) = (h(k-1) + k2.*W(k-1)).*exp(-1/tau2);
end

I=load('indice.txt'); % onde estão registadas as semanas de competição
nI = length(I);
for k=1:nI
    yhat(k,1) = C + g(I(k)) - h(I(k));
end
end
```

## • Função IR\_Busso

```
function yhat = IR_Busso(betap,W)

% Modelo de resposta a impulsos (IR) para indicadores de fadiga e adaptação
% de acordo com o modelo de Busso
%
% yhat = IR_Banister(betap,W)
% fornece os valores preditos para a performance (yhat)
% como função do vetor de parâmetros (betap, que deve ter 6 componentes)
% e da matriz relativa a cargas de treino (W)
%
% A forma do modelo é:
%  $y = C + g(n) - h(n)$ 
% onde
%  $g(1) = 0$ 
%  $g(n) = (g(n-1) + k1 * W(n-1)) * \exp(-1/\tau1)$ 
%  $k2(1) = k3 * W(1)$ 
%  $k2(n) = k2(n-1) * \exp(-1/\tau3) + k3 * W(n)$ 
%  $h(1) = 0$ 
%  $h(n) = (h(n-1) + k2(n-1) * W(n-1)) * \exp(-1/\tau2)$ 
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

C = betap(1);
k1 = betap(2);
k3 = betap(3);
tau1 = betap(4);
tau2 = betap(5);
tau3 = betap(6);

n = length(W);
g(1) = 0;
h(1) = 0;
k2(1) = k3.*W(1);
for k=2:n-1
    g(k) = (g(k-1)+k1.*W(k-1)).*exp(-1/tau1);
    h(k) = (h(k-1)+k2(k-1).*W(k-1)).*exp(-1/tau2);
    k2(k) = k2(k-1).*exp(-1/tau3)+k3*W(k);
end
g(n) = (g(n-1)+k1.*W(n-1)).*exp(-1/tau1);
h(n) = (h(n-1)+k2(n-1).*W(n-1)).*exp(-1/tau2);

I=load('indice.txt');
m = length(I);
for k=1:m
    yhat(k,1) = C + g(I(k)) - h(I(k));
end
end
```

## • Função IR\_Hellard

```
function yhat = IR_Hellard(betap,W)

% Modelo de resposta a impulsos (IR) para indicadores de fadiga e adaptação
% de acordo com o modelo de Hellard
%
% yhat = IR_Banister(betap,W)
% fornece os valores preditos para a performance (yhat)
% como função do vetor de parâmetros (betap, que deve ter 7 componentes)
% e da matriz relativa a cargas de treino (W)
%
% A forma do modelo é:
%  $y = C + g(n) - h(n)$ 
% onde
%  $g(1) = 0$ 
%  $g(n) = (g(n-1) + k1 \cdot (W(n-1) \cdot \text{gama}) / (\text{delta} \cdot \text{gama} + W(n-1) \cdot \text{gama})) \cdot \exp(-1/\text{tau1})$ 
%  $h(1) = 0$ 
%  $h(n) = (h(n-1) + k2 \cdot (W(n-1) \cdot \text{gama}) / (\text{delta} \cdot \text{gama} + W(n-1) \cdot \text{gama})) \cdot \exp(-1/\text{tau2})$ 
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

C = betap(1);
k1 = betap(2);
k2 = betap(3);
tau1 = betap(4);
tau2 = betap(5);
gama = betap(6);
delta = betap(7);

n = length(W);
g(1) = 0;
h(1) = 0;
for k=2:n
    g(k) = (g(k-1) + k1 \cdot (W(k-1) \cdot gama) / (delta \cdot gama + W(k-1) \cdot gama)) \cdot \exp(-1/tau1);
    h(k) = (h(k-1) + k2 \cdot (W(k-1) \cdot gama) / (delta \cdot gama + W(k-1) \cdot gama)) \cdot \exp(-1/tau2);
end

I=load('indice.txt');
m = length(I);
for k=1:m
    yhat(k,1) = C + g(I(k)) - h(I(k));
end
end
```

## • Função IR\_Banister\_interv

```
function yhat = IR_Banister_interv(betap,W)

% Modelo de resposta a impulsos (IR) para indicadores de fadiga e adaptação
% de acordo com o modelo de Banister com intervenções
%
% yhat = IR_Banister_interv(betap,W)
% fornece os valores preditos para a performance (yhat)
% como função do vetor de parâmetros (betap, que deve ter 7 componentes)
% e da matriz relativa a cargas de treino (W)
%
% A forma do modelo é:
%  $y = C + g(n) - h(n)$ , se  $n < \text{semana de intervenção}$ 
%  $y = C + g(n) - h(n) + \omega$ , se  $n = \text{semana de intervenção}$ 
%  $y = C + g(n) - h(n) + \omega + \theta$ , se  $n > \text{semana de intervenção}$ 
% onde
%  $g(1) = 0$ 
%  $g(n) = (g(n-1) + k_1 * W(n-1)) * \exp(-1/\tau_1)$ 
%  $h(1) = 0$ 
%  $h(n) = (h(n-1) + k_2 * W(n-1)) * \exp(-1/\tau_2)$ 
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

inic_ep2 = 53; % semana de intervenção
C = betap(1);
k1 = betap(2);
k2 = betap(3);
tau1 = betap(4);
tau2 = betap(5);
omega = betap(6);
teta = betap(7);

n = length(W);
g(1) = 0;
h(1) = 0;
for k=2:n
    g(k) = (g(k-1)+k1.*W(k-1)).*exp(-1/tau1);
    h(k) = (h(k-1)+k2.*W(k-1)).*exp(-1/tau2);
end

k = 1;
while W(k)~=0
    k = k + 1;
end
inic_ep2 = k + 1;

I=load('indice.txt');

k = 1;
while I(k)<inic_ep2
    k = k + 1;
end
m1 = k+1;
m2 = length(I);

for k=1:m1
    yhat(k,1) = C + g(I(k)) - h(I(k));
end

yhat(m1+1,1) = C + g(I(m1+1)) - h(I(m1+1)) + omega;

for k=m1+2:m2
    yhat(k,1) = C + g(I(k)) - h(I(k)) + omega + teta;
end
end
```